

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Информационно-измерительная техника и технологии»

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Физико-математическое моделирование систем охраны
и безопасности»

Минск
БНТУ
2014

УДК 614.84:004.92(076.5)(075.8)

ББК 38.96я7

К63

Составитель *В. В. Невдах*

Рецензенты:

В. В. Сидорик, А. С. Ясюкевич

Излагаются указания по выполнению цикла лабораторных работ по компьютерному моделированию пожара в помещении. Описывается порядок построения трехмерной модели помещения в графическом редакторе-интерфейсе PyroSim, подготовка входного текстового файла для расчетной программы FDS, порядок просмотра результатов моделирования с помощью программы визуализации данных SmokeView, работы с таблицами численных данных и построения диаграмм в редакторе Microsoft Office Excel, приводится перечень заданий для лабораторных работ.

Издание предназначено для студентов дневной и заочной формы обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Физико-математическое моделирование систем охраны и безопасности» является частью специальной подготовки студентов, обучающихся по специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности».

Одной из целей дисциплины является изучение студентами методов физико-математического моделирования процессов горения и динамики развития пожара в ограждениях.

Учебной программой дисциплины предусмотрено выполнение студентами цикла лабораторных работ по компьютерному моделированию пожара в помещении для приобретения ими практических навыков работы с современными компьютерными программами FDS, PyroSim, SmokeView для моделирования процессов горения и использования результатов моделирования при проектировании систем пожарной сигнализации.

Существующая статистика пожаров показывает, что большая часть людей, погибших при пожарах, приходится на пожары в жилых помещениях. Также известно, что успешная эвакуация и другие действия по ликвидации опасности для людей в случае возникновения пожара, возможны только на первом, начальном, этапе его развития, пока не достигнуты условия, несовместимые с жизнью человека. Разнообразие архитектурно-планировочных особенностей жилых помещений, свойств материалов, используемых при строительстве и отделке помещений, их наполнение мебелью и бытовой техникой оказывают существенное влияние на развитие возможных пожаров и, как следствие, на эффективность используемых в жилых помещениях систем пожарной сигнализации, основной задачей которых является обнаружение пожаров в их начальной стадии.

Моделирование динамики пожаров в жилых помещениях на начальной стадии необходимо для правильного выбора типа пожарных извещателей и их расположения при разработке эффективных систем пожарной сигнализации для этих помещений.

Для моделирования пожаров разработан ряд специальных компьютерных программ, в которых используются различные модели пожаров. Одной из наиболее распространенных программ, реализующих полевою модель пожара, является компьютерная программа FDS (Fire Dynamics Simulator), разработанная Национальным институтом стандартов и технологии (NIST) США в кооперации с научно-исследовательскими организациями других стран [1–3]. FDS реализует вычислительную гидродинамическую модель теплопереноса при горении. Она считывает входные параметры из текстового файла, численно решает систему уравнений в частных производных, включающую уравнения сохранения массы, момента количества движения и энергии, по трехмерной регулярной прямоугольной сетке и записывает определенные пользователем выходные данные в соответствующие файлы, позволяя получить картину распространения дыма и теплопередачи при пожаре. Все создаваемые препятствия также должны быть прямоугольными, чтобы согласовываться с сеткой. В случае, когда рассчитываемый объем (домен) имеет неправильную форму и его сложно описать с помощью одной сетки, тогда можно использовать несколько сеток, с ячейками разных, но согласованных размеров и использовать составную сетку. Прямое численное моделирование можно выполнять, если лежащая в основе расчетная сетка достаточно точна.

На всех твердых поверхностях задаются тепловые граничные условия, плюс данные о горючести материала.


Тепловое излучение рассчитывается методом конечных объемов на той же, что и для моделирования движения дыма, сетке.

PyroSim – графический интерфейс для программы FDS. Программа упрощает ввод и анализ исходных данных, облегчает процесс построения модели и создание текстового файла для программы FDS.

SmokeView – программа, созданная для визуализации данных расчета FDS. Она позволяет наглядно увидеть распространение дыма, пламени, поля температур и некоторых других рассчитываемых величин.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ В ПРОГРАММЕ PYROSIM

Для любого расчета с помощью программы FDS нужен входной текстовый файл, в котором задаются геометрия модели, параметры материалов и реакций, длительность моделируемого пожара. Для подготовки такого файла существует специальный графический редактор-интерфейс PyroSim.

Рассмотрим общие свойства программы PyroSim. После инсталляции программы на рабочем столе компьютера и на панели «Пуск» появляется иконка . При запуске двумя щелчками левой кнопки мыши открывается рабочее окно PyroSim, состоящее из следующих основных частей: главного меню – верхняя строка, панели инструментов – строки ниже главного меню, рабочей области (области визуализации создаваемой модели) – правая большая часть окна, дерева объектов – левая часть окна, и панели выбора вида модели – строка под рабочей областью (рис. 1).

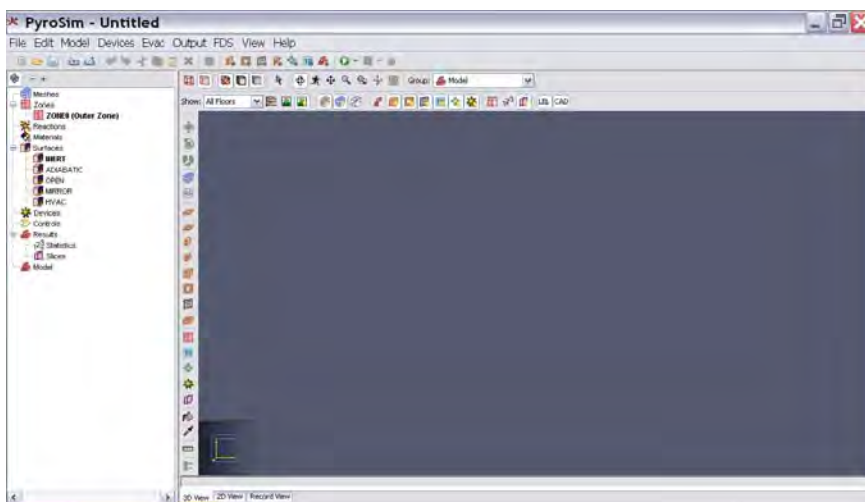


Рис. 1. Рабочее окно программы PyroSim

Большинство действий в программе выполняется с помощью главного меню и кнопок на панели инструментов.

В рабочей области окна отображается внешний вид моделируемых объектов и их расположение относительно друг друга. Объекты можно создавать, редактировать, перемещать, удалять. Модель может отображаться в рабочей области в 3D-виде, в 2D-виде (три проекции: сверху, спереди и сбоку) и в текстовом виде (в котором модель воспринимает программа FDS). Однако текстовый вид модели предназначен только для просмотра записей, в нем невозможно редактирование.

Создаваемому файлу с моделью присваивается имя, например, «Model N», и определяется место его хранения в компьютере (рис. 2).

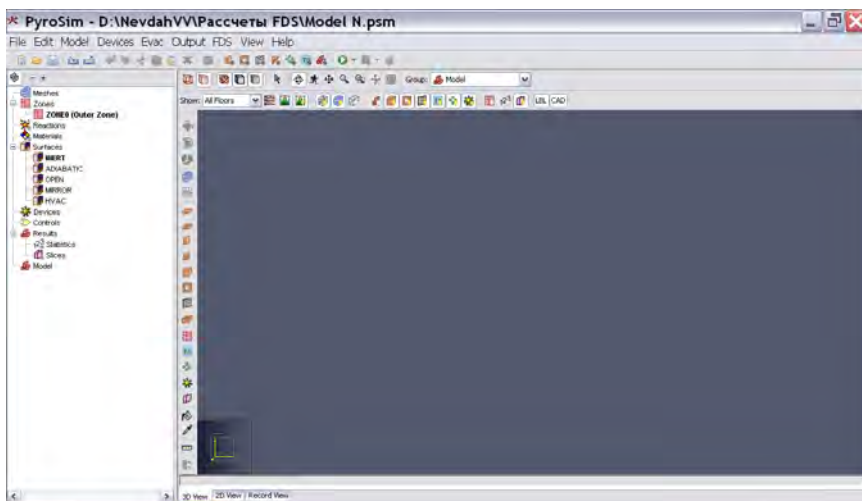


Рис. 2. Рабочее окно программы PyroSim для создаваемой модели «Model N»

При нажатии кнопки Модель (Model) главного меню открывается панель инструментов, с помощью которой осуществляется создание или редактирование моделируемого объекта (рис. 3).

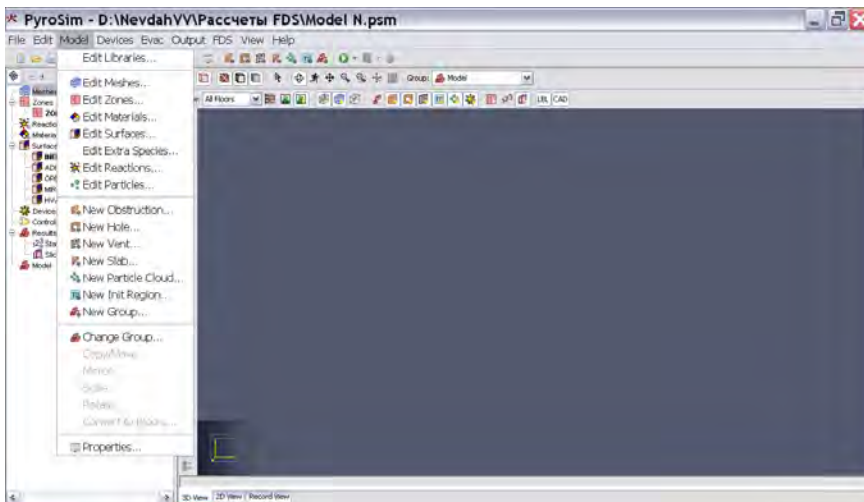


Рис. 3. Рабочее окно программы PyroSim с открытой вкладкой «Модель»

Все геометрические конструкции объекта должны находиться в пределах расчетной сетки (Mesh), которая может состоять из одного или больше прямоугольных объемов, разбитых на ячейки. Каждая ячейка сетки играет роль соответствующей точки пространства со своими координатами, в которой программа FDS будет производить все вычисления. Прямоугольная система координат, в которую помещается расчетная сетка, показывается в левом нижнем углу рабочего окна программы PyroSim (см. рис. 1). Объекты модели с размером меньше одной ячейки сетки рассматриваются программой FDS как объекты, имеющие размер ячейки, или же игнорируются. Программа лучше работает, когда расчетная сетка разбита на кубические ячейки – ячейки с соотношением сторон 1:1:1.

Для создания расчетной сетки в главном меню «Модель» (Model) выбрать раздел «Редактировать сетки» (Edit Meshes) и щелкнуть по кнопке «new». Рабочее окно примет следующий вид (рис. 4).

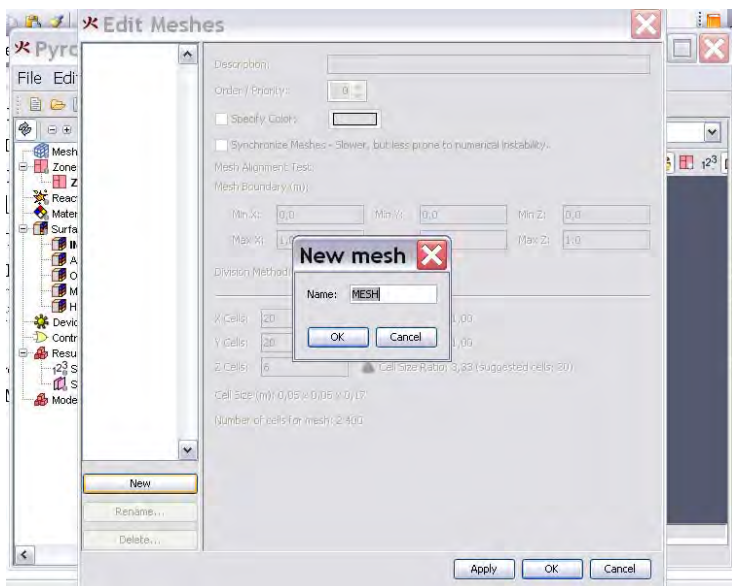


Рис. 4

В диалоговом окне «New mesh» набрать название (name) сетки, например, «MESH 1», и нажать ОК. Это окно закрывается, и в рабочем окне появляется другое – «Редактировать сетки» (Edit Meshes), в котором задаются наружные размеры (Mesh Boundary) и количество ячеек (Cell) расчетной сетки по всем трем осям координат, выбирается цвет и прозрачность сетки (Specify Color) (рис. 5). Размер ячеек сетки играет важную роль в точности предсказаний FDS. Для любого моделируемого пожара существует своя оптимальная сетка – сетка с ячейками оптимального размера. Недоразрешение (сетка со слишком большими ячейками) будет приводить к моделированию с неприемлемой точностью, тогда как переразрешение (сетка со слишком маленькими ячейками) приведет к неприемлемо длительному времени моделирования. Какой размер ячеек сетки является оптимальным и как его определить априорно неясно. Это определяется опытным путем при сравнении

значений выходных параметров пожара. Проводится предварительное моделирование с сеткой, состоящей из больших ячеек. Затем размер ячеек уменьшается и моделирование повторяется. Полученные выходные параметры сравниваются. Так повторяется до тех пор, пока уменьшение размеров ячеек перестанет приводить к заметным изменениям в контролируемых параметрах.

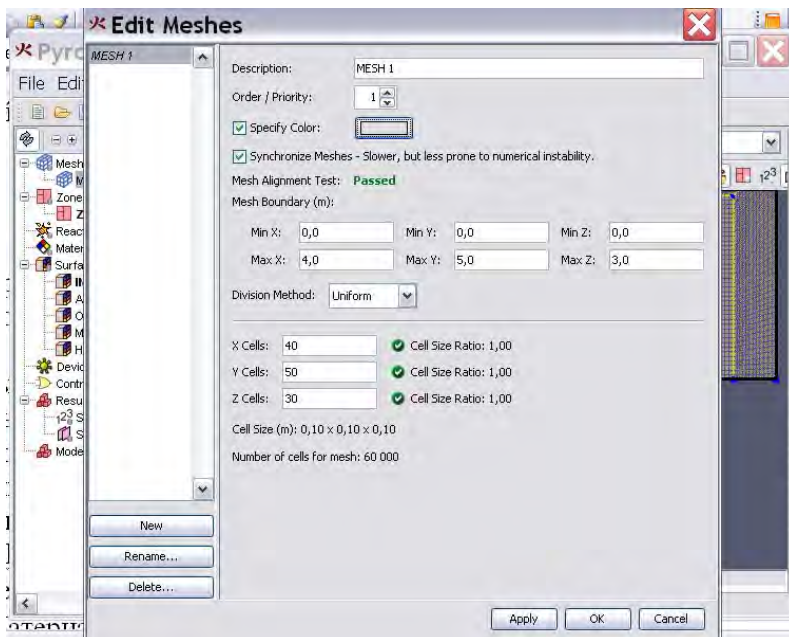


Рис. 5

После нажатия кнопок «Apply» и «OK» в рабочей зоне окна появляется трехмерное изображение сетки, которое можно поворачивать с помощью мыши в пространстве вместе с системой координат (рис. 6).

По умолчанию внешняя граница сетки рассчитываемого домена рассматривается как твердая поверхность, имеющая

температуру окружающей среды (по умолчанию эта температура считается равной 20 °С).

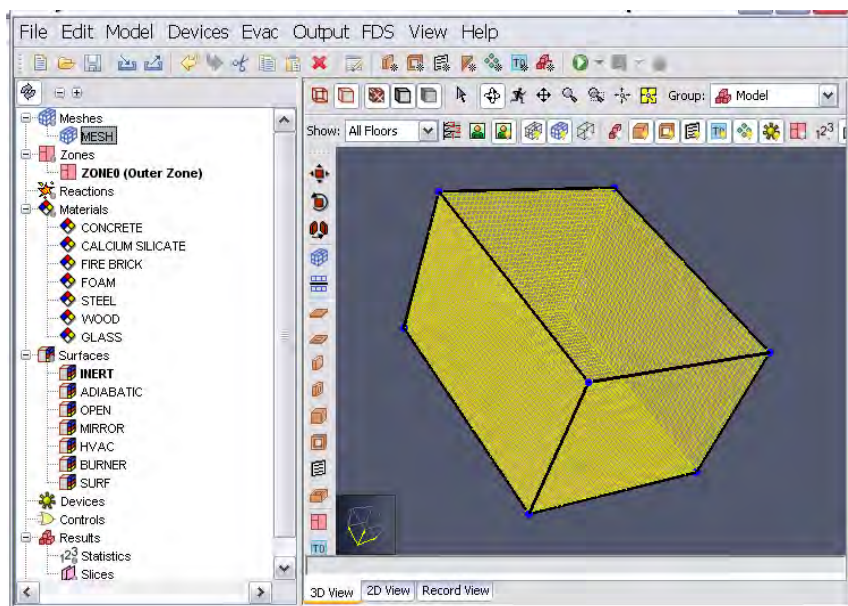


Рис. 6

Все объекты в Pyrosim-FDS моделируются с помощью иерархической структуры *материал–поверхность–препятствие*. Объекты в области «Модель» можно объединять в группы. Далее с группой можно работать как с целым – копировать, перемещать, удалять. Изменение свойств группы приводит к изменению свойств всех объектов внутри группы. Группы могут быть любой вложенности.

Для создания модели могут использоваться твердые или жидкие материалы. В меню «Модель» выбрать «Редактировать материалы» (Edit Materials), затем вкладку «new» (рис. 7).

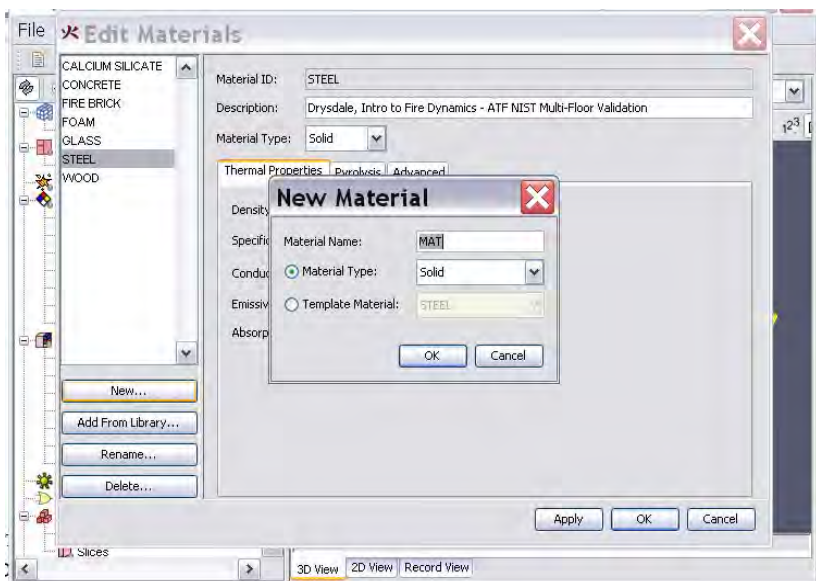


Рис. 7

Во вкладке «New Material» указывается название материала и его тип, например, Solid для твердых материалов. После нажатия кнопки ОК вкладка «New Material» закроется и в рабочем окне появится активная вкладка раздела «Редактировать материалы» (Edit Materials) (рис. 8).

Для твердых материалов указываются их теплотехнические свойства (Thermal Properties): плотность (Density), теплоемкость (Specific Heat), теплопроводность (Conductivity) – свойства, определяющие тепловую инерцию материала, т. е. как материал принимает и проводит тепло. Эти свойства могут быть как постоянными, так и меняться с изменением температуры или времени. Если свойство материала не зависит от температуры или времени, то выбирается «Постоянный» (Constant). Если же зависимость есть, то нужно выбрать «Специальный» (Custom) и заполнить открывающуюся таблицу: задать температуру (время) и значение функции при выбранной температуре (времени) (рис. 9).

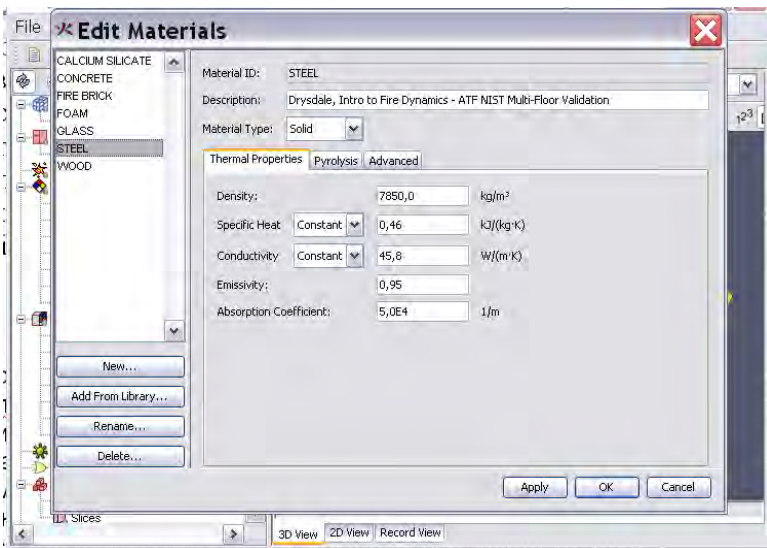


Рис. 8



Рис. 9

Кроме того, на вкладке «Пиролиз» (Pyrolyses) можно описать реакции горения материала (рис. 10). Тогда материал будет гореть не с заданной мощностью или скоростью выгорания, а будут моделироваться непосредственно реакции, протекающие в материале. Это позволяет более точно и подробно описать горение сложных веществ и материалов, но требуется задание более точных и подробных входных данных. Нужно добавить реакции пиролиза и описать их параметры: можно либо экспериментально определить зависимость скорости горения от температуры, либо задать величины A и E – предэкспоненциальный фактор и энергию активации, входящие в закон Аррениуса.

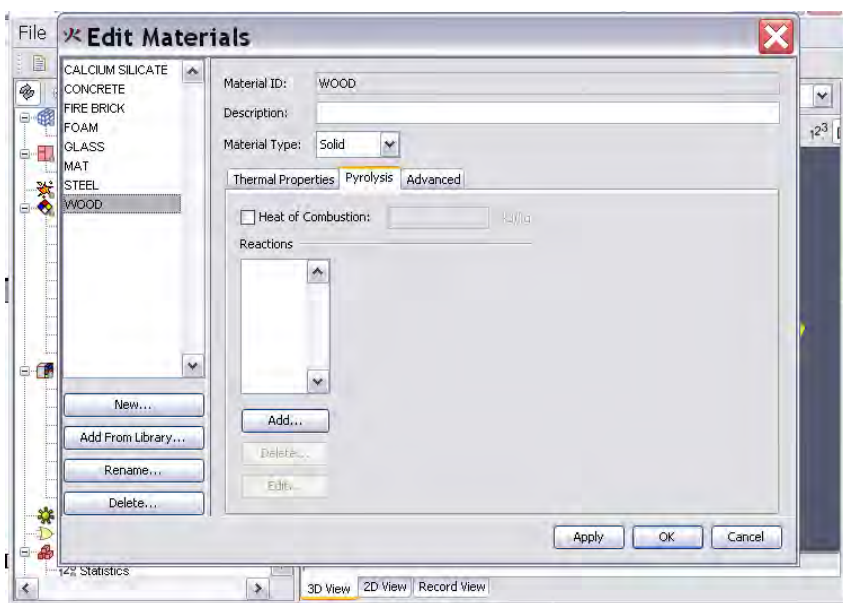


Рис. 10

Если выбрано жидкое топливо, то вкладка «Пиролиз» имеет следующий вид (рис. 11).

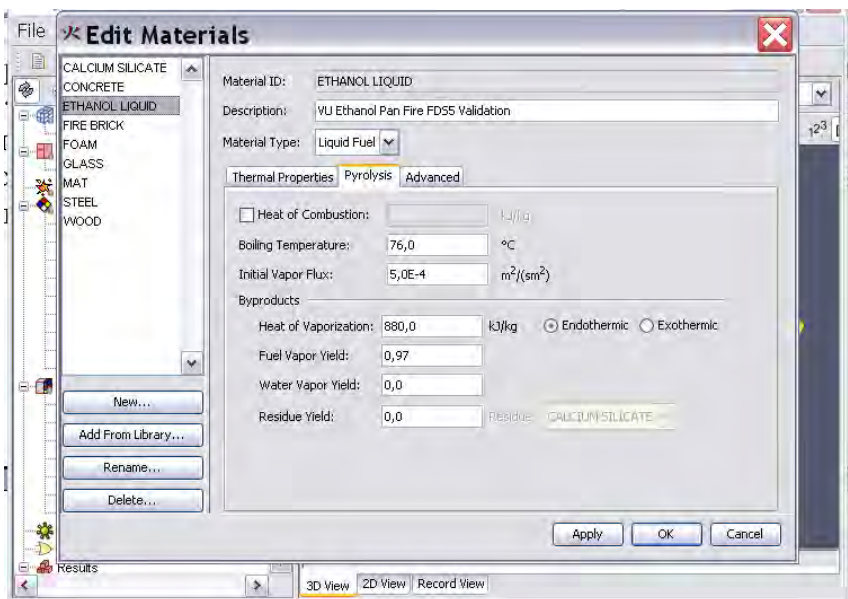


Рис. 11

В таблице 1 представлены теплофизические параметры некоторых конструкционных материалов, применяемых при строительстве помещений различного назначения, используемых в программе PyroSim при создании расчетной модели помещения для моделирования пожара в этом помещении с помощью программы FDS (см. рис. 8).

Поверхности (Surfaces) в программе PyroSim – это граничные условия, задающие свойства препятствий и вентиляционных отверстий, используемых в модели. Для создания новых поверхностей используется закладка «Редактировать поверхности» (Edit Surfaces) меню «Модель». После выбора вкладки «new» рабочее окно примет следующий вид (рис. 12). В открывшейся вкладке создаваемой поверхности присваивается имя и определяется ее тип (Surface Type). После нажатия «OK» открывается новая вкладка «Редактировать поверхности» (Edit

Surfaces), в которой опять определяется тип поверхности (Surface Type), а также задаются ее цвет (Color) и текстура (Texture) – параметры, играющие важную роль при визуализации модели (рис. 13).

Таблица 1

Параметры некоторых конструкционных материалов, используемых в PyroSim при создании модели помещения для программы FDS

Материал	Плотность (Density), $\text{кг}\times\text{м}^{-3}$	Удельная теплоемкость (Specific heat), $\text{кДж}\times\text{кг}^{-1}\text{К}^{-1}$	Коэффициент теплопроводности (Conductivity), $\text{Вт}\times\text{м}^{-1}\text{К}^{-1}$
Бетон	2100	0.88–1.13	1.2
Железобетон	2280	1.04	1.8
Кирпич (полнотельный)	950	0.84	0.69
Кирпич (огнеупорный)	750	1.04	0.1
Кирпич (силикатный)	720	1.0	0.12
Сталь	7700–7900	0.47–0.5	45.8–52
Дерево (сосна)	500	2,72	0.16
Дерево (твердых пород)	650–670	1.7	0.2
Стекло	2200–7500	0.42–0.84	0.99–1.15
Воздух (300 К, 100 кПа)	1.17	1.006	0.026
Пена	28	1.7	0.05
Пеноблок	250–1400	2.9	0.07–0.3

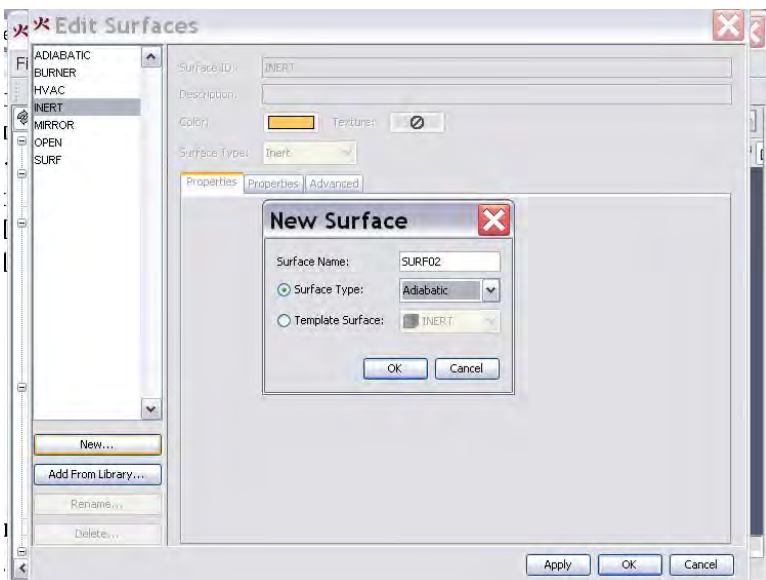


Рис. 12

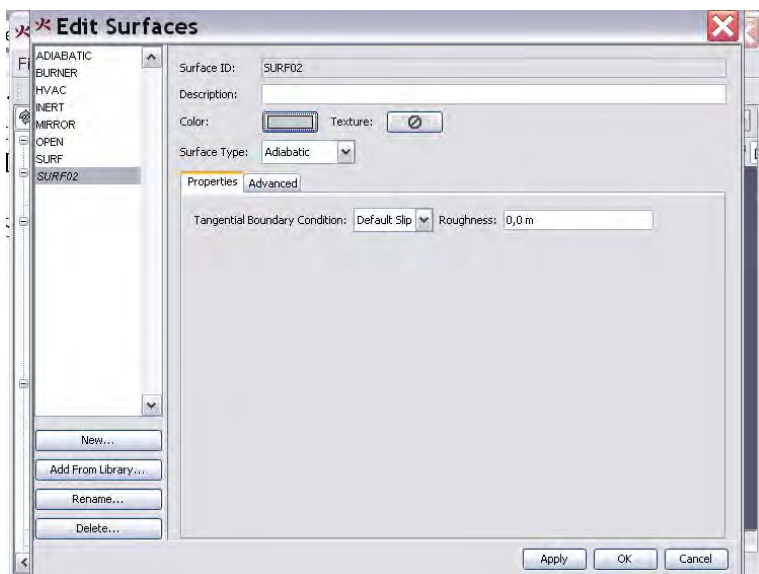


Рис. 13

Для описания твердых препятствий, например, стен, пола, в программе могут создаваться многослойные (Layered) поверхности, содержащие в себе несколько (до 20) слоев материалов. Первый слой такой поверхности – самый первый слой препятствия, на который попадает поток тепла. Пример задания двухслойной поверхности из дерева (Wood) и бетона (Concrete) показан на рис. 14. Здесь задается материал и массовая доля этого материала в слое – 25 % дерева и 75 % бетона. В случае препятствия с такой поверхностью тепло сначала попадает на дерево, потом на бетон. Если нужно учитывать теплопроводность и с обратной стороны препятствия, то нужно создавать другую поверхность такого же состава, но первый слой делать из бетона.

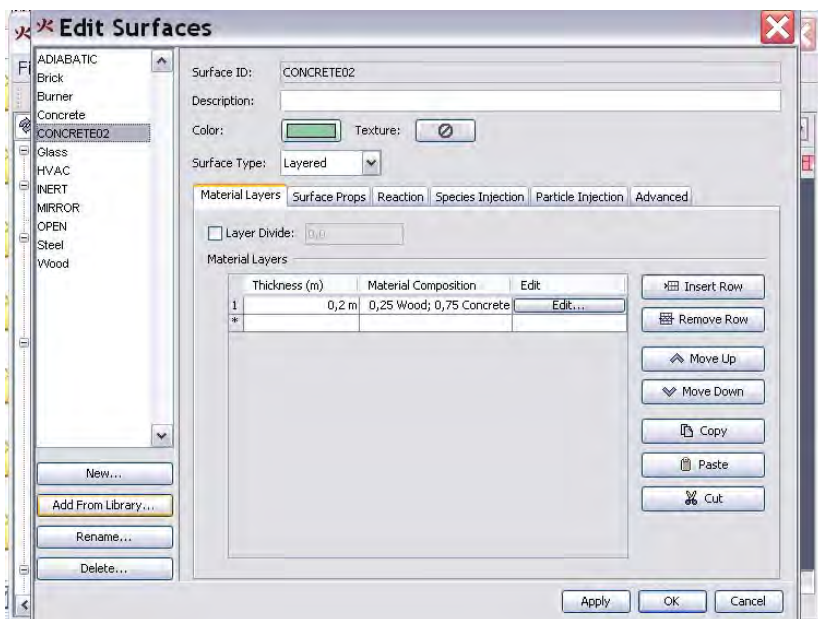


Рис. 14

Редактирование и удаление имеющихся поверхностей также выполняется во вкладке «Редактировать поверхности»

(Edit Surfaces), которую можно открыть не только из главного меню, но и двойным щелчком по одному из элементов группы «поверхности» (Surfaces) в дереве объектов.

В программе PyroSim используются адиабатические (Adiabatic), инертные (Inert), открытые (Open), горелка (Burner) и другие поверхности.

На адиабатической поверхности нет теплообмена между газом и твердым телом. Температура поверхности рассчитывается так, чтобы суммарный тепловой поток к поверхности был равен нулю. Такая поверхность используется в основном в тестовых целях, а не при моделировании реальных пожаров.

Инертная (Inert) поверхность – не взаимодействующая с газовой средой стена с фиксированной температурой, равной температуре окружающей среды.

Поверхность «горелка» (Burner) используется для моделирования источника пожара (рис. 15).

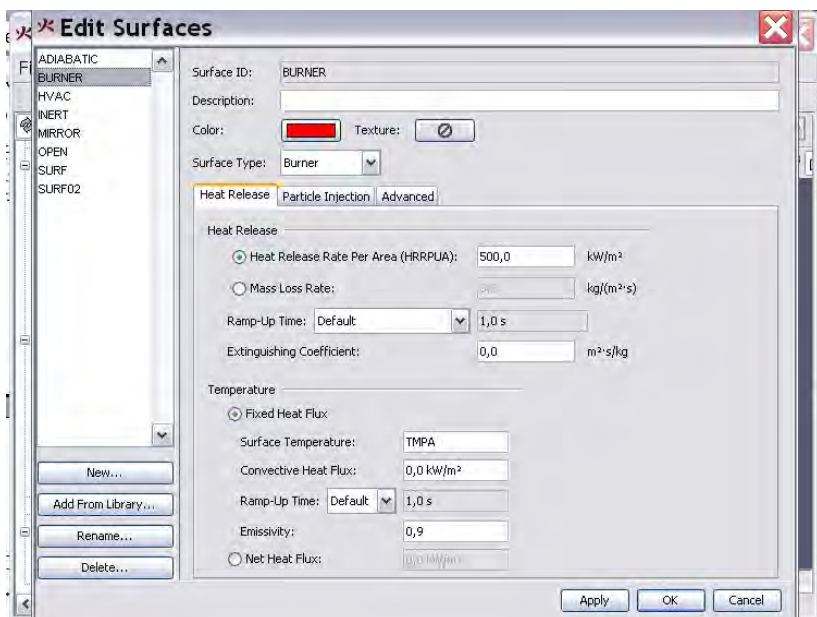


Рис. 15

В этой вкладке можно задать либо удельную скорость тепловыделения – Heat Release Rate Per Area (HRRPUA), либо удельную скорость потери массы или скорость выгорания (Mass Loss Rate). Здесь же в окошке Ramp-Up Time можно задать несколько законов изменения скорости тепловыделения со временем:

1) стационарный (Default) – скорость тепловыделения не зависит от времени, как при стационарном пожаре;

2) нарастание тепловыделения по гиперболическому тангенсу (\tanh);

3) нарастание тепловыделения по квадратичному закону (t^2);

4) специальный (Custom) – нарастание тепловыделения происходит по кусочно-линейной функции.

При выборе специального (Custom) закона нарастания тепловыделения (рис. 16) нужно щелкнуть кнопку «Edit values» и в открывшейся вкладке «Ramping Function Values» (рис. 17) в таблице нужно задать кусочно-линейную функцию, т. е. указать моменты времени и доли функции тепловыделения в эти моменты. В моменты времени, когда тепловыделение имеет максимальное значение, функция равна 1.

Коэффициент излучения (Emissivity) (см. рис. 15–17) определяет излучательную способность источника, или степень его черноты. Единица соответствует абсолютно черному телу.

Препятствия (Obstraction) соответствуют физическим объектам, например, стенам, полу, потолку, предметам мебели. В свойствах препятствия определяются геометрическое расположение и размеры конкретного объекта, его состав. К примеру, в модели могут быть описаны материалы бетон и дерево со специфическими свойствами, однослойная поверхность из бетона «стена», двухслойная поверхность из того же бетона и дерева «пол с паркетом», отдельные препятствия для всех стен в помещении, для пола в разных комнатах и т. п.

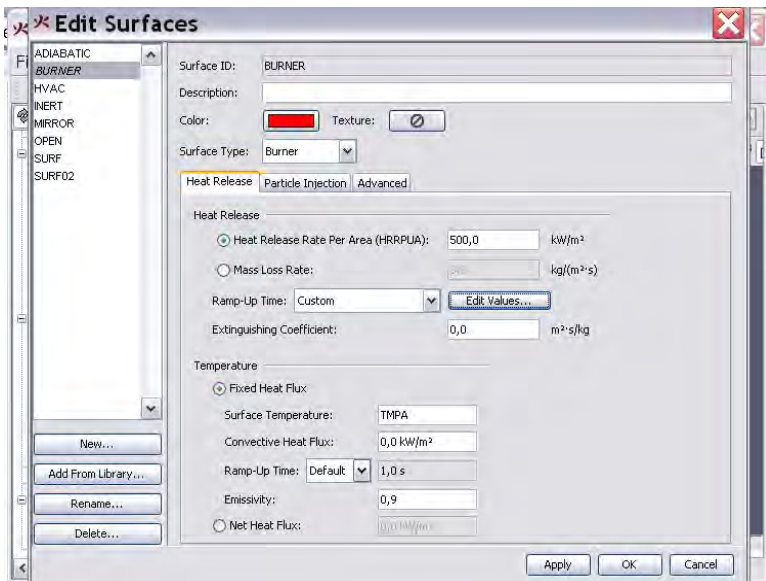


Рис. 16

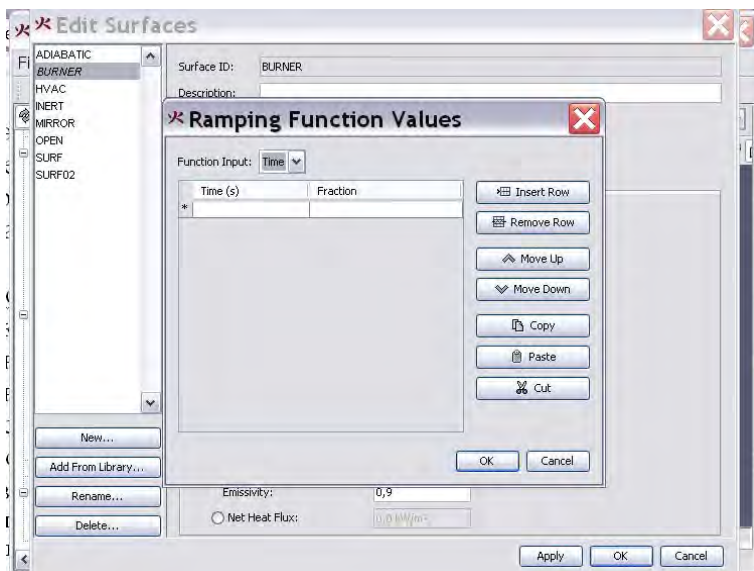


Рис. 17

Как уже отмечалось выше, при создании/редактировании модели объекты в области «Модель» дерева объектов можно объединять в группы. Это делается с помощью «New Group» или «Change Group» меню Модель (Model) (см. рис. 3). С группой можно работать как с целым – копировать, перемещать, удалять. Изменение свойств группы приводит к изменению свойств всех объектов внутри группы. В состав группы может входить любое число объектов.

В качестве примера рассмотрим порядок создания модели помещения (комнаты) с внутренними размерами $5 \times 3 \times 2.5$ м. Запустим программу PyroSim и создадим в ней рабочий файл с именем «Model N». Начнем с создания расчетной сетки. Учитывая простоту геометрии помещения, расчетная сетка будет одна. Так как в сетку должны попадать все элементы объекта, то нужно знать его наружные размеры. Пусть толщины всех стен, пола и потолка будут одинаковы – по 0.2 м. Выбираем ориентацию комнаты в прямоугольной системе координат так, чтобы наружные размеры комнаты по оси X были 5.4 м, по оси Y – 3.4 м и по оси Z – 2.9 м.

В главном меню «Модель» (Model) выбираем «Редактировать сетки» (Edit Meshes) и нажимаем «new». В открывшейся вкладке «New mesh» набираем название (name) сетки, например, «MESH», и щелкаем «ОК». В рабочем окне появится другая вкладка «Редактировать сетки» (Edit Meshes), в которой задаем:

наружные размеры сетки (Mesh Boundary): от -0.3 до 5.2 по оси X, от -0.3 до 3.2 по оси Y, от -0.2 до 2.8 по оси Z;

количество ячеек (Cell) расчетной сетки по осям координат: 55 по оси X, 35 по оси Y и 30 по оси Z;

цвет и прозрачность сетки (Specify Color) (рис. 18).

Согласно иерархии материал–поверхность–препятствие в начале создадим все материалы, из которых сделаны элементы конструкции помещения.

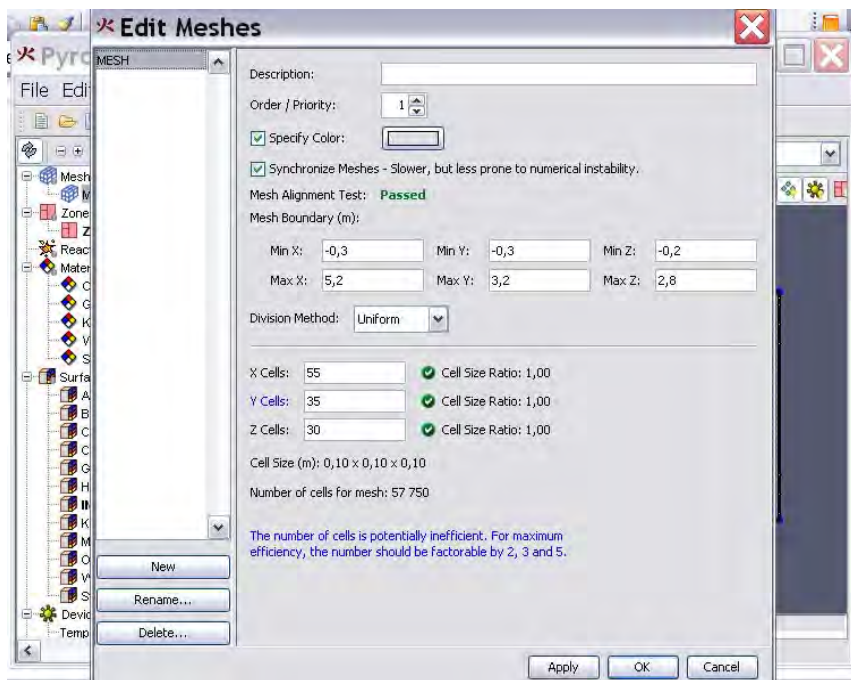


Рис. 18

В меню «Модель» (Model) выбираем «Редактировать материалы» (Edit Materials) и щелкаем кнопку «new». В открывшейся вкладке «New material» набираем название (name) материала, например, «Brick» (кирпич), его тип – твердое тело (solid), и нажимаем «OK». В рабочем окне появится другая вкладка «Редактировать материалы» (Edit Materials), в которой задаем параметры материала, используя табл. 1 (рис. 19).

Таким же образом создаются и другие используемые материалы – бетон (Concrete), стекло (Glass), сталь (Steel) и дерево (Wood). Список созданных материалов появляется в соответствующем разделе дерева объектов.

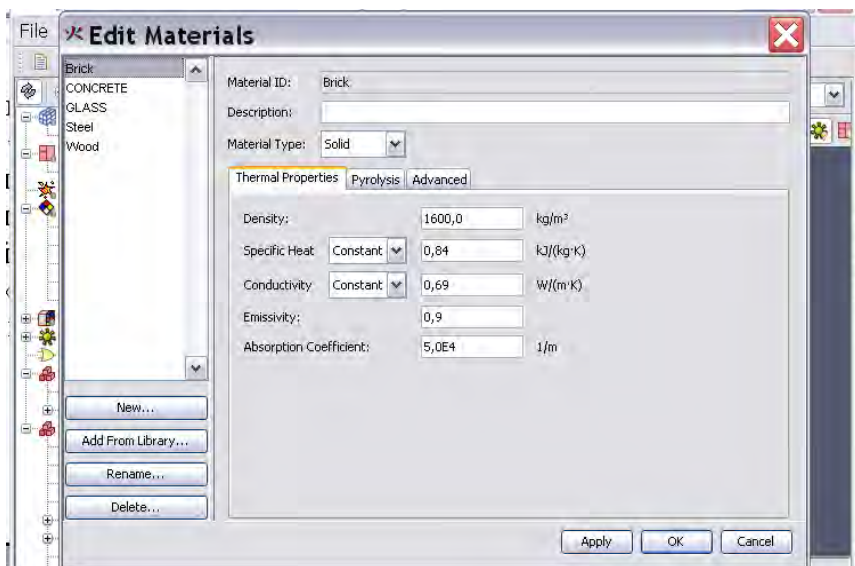


Рис. 19

Затем переходим к созданию поверхностей (Surfaces), задающих граничные условия для препятствий и вентиляционных отверстий, используемых в модели. Для этого используем «Редактировать поверхности» (Edit Surfaces). После щелчка по кнопке «new» открывается вкладка, в которой создаваемой поверхности присваиваем имя, например, Brick, и определяем ее тип (Surface Type) – Inert. После нажатия «OK» в рабочем окне открывается новая вкладка «Редактировать поверхности» (Edit Surfaces) (рис. 20), в которой задаем тип поверхности (Surface Type), а также цвет (Color) и текстуру (Texture).

Точно также создаем все остальные поверхности модели помещения и используем встроенные в программу PyroSim поверхности: адиабатическую (Adiabatic), инертную (Inert), открытую (Open), горелку (Burner). Список всех используемых в модели поверхностей появляется в разделе поверхности (Surfaces) дерева объектов.

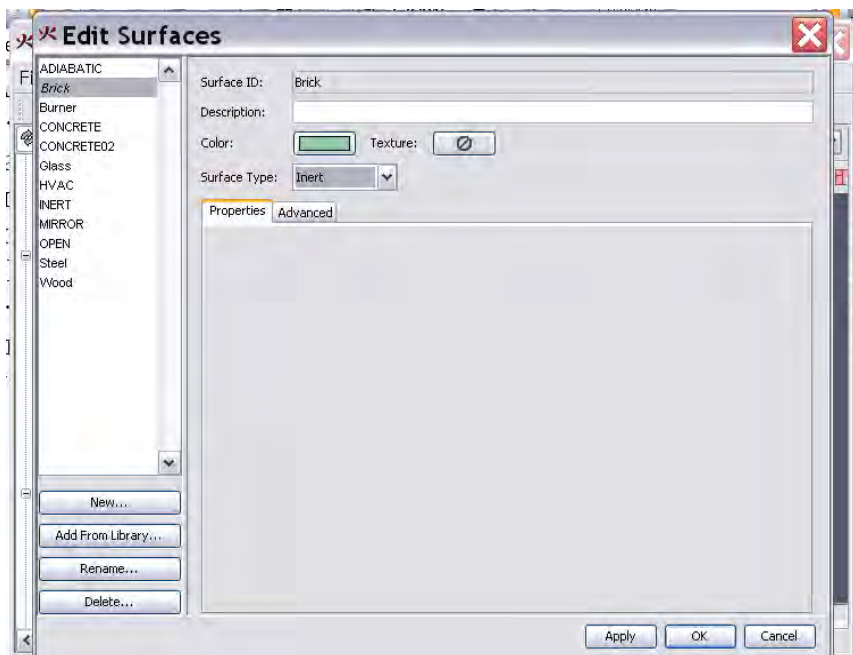


Рис. 20

Теперь создадим препятствия. Препятствиями в программе PyroSim являются все конструкционные элементы создаваемой модели: стены, пол, потолок, мебель. Для их создания выбираем в меню «Модель» «Новое препятствие» (New Obstraction). После этого в рабочем окне открывается вкладка «Свойства препятствия» (Obstraction Properties), в которой можно задать общие свойства (General), геометрию (Geometry) и тип поверхности (Surfaces) создаваемого препятствия. Вид вкладки, открытой для задания общих свойств препятствия, показан на рис. 21. В строке «Description» создаваемому препятствию присваивается имя, например, пол (floor); в строке «Group» определяется его место на дереве объектов (Model). Для выбора цвета строка «Specify Color» отмечается птичкой, и после щелчка по окошку строки открывается вкладка

«Color» (рис. 22). С помощью этой вкладки задается цвет препятствия в виде стандартной комбинации RGB трех основных цветов – красного (Red), зеленого (Green) и голубого (Blue) – с регулируемым соотношением или же выбирается из таблицы цветов (Palette).

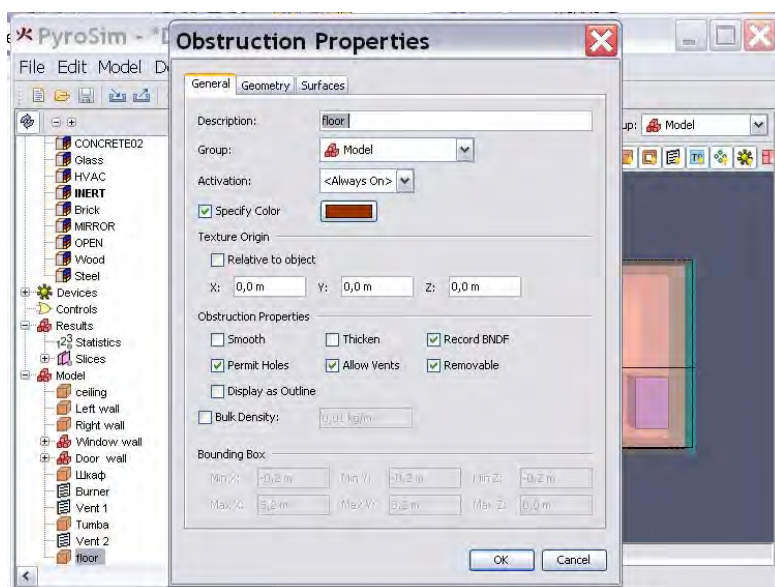


Рис. 21

На этой же вкладке с помощью параметра «Alpha» можно задавать степень прозрачности создаваемого препятствия, делая модель удобной для наблюдения за протекающими в ней процессами при визуализации результатов моделирования. Значение параметра «Alpha», равное 1, соответствует полностью непрозрачному препятствию.

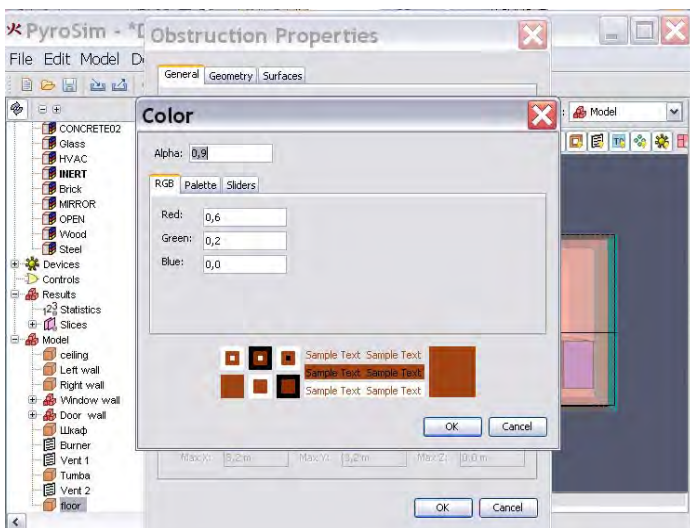


Рис. 22

При активации кнопки «Геометрия» (Geometry) вкладка «Свойства препятствия» (Obstruction Properties) принимает следующий вид (рис. 23).

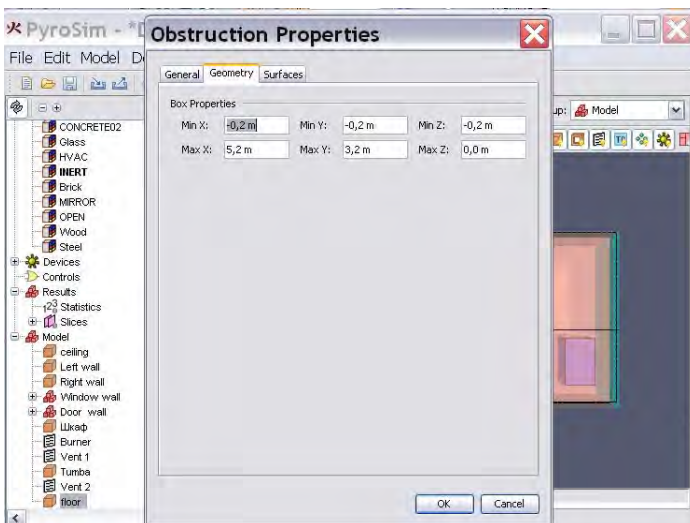


Рис. 23

На этой вкладке задаем координаты пола, определяющие его место в расчетной сетке.

При активации кнопки «Поверхности» (Surfaces) вкладка принимает вид, показанный на рис. 24. В этой вкладке для создаваемого препятствия указывается тип поверхности из списка, созданного ранее и размещенного на дереве объектов в области «Surfaces».

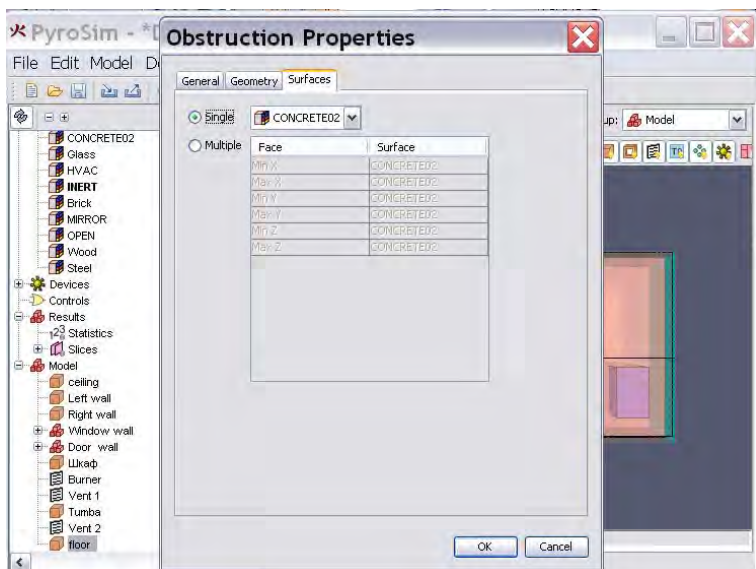


Рис. 24

Аналогично создаем потолок (Ceiling) и глухие стены (Left wall) и (Right wall). Стену с окном (window) создаем из окна и отдельных препятствий, обрамляющих окно, и помещаем в отдельную группу (Window wall), созданную в области «Модель» (Model) дерева объектов. Стену с дверью (Door) также создаем из отдельных частей и помещаем в отдельную группу (Door wall). Любые другие предметы (объекты), используемые в модели, также создаются как препятствия. Например, всю мебель, размещенную внутри помещения, помещаем в отдельную группу (Furniture).

Программа предусматривает возможность управления включением/выключением объектов в процессе расчета. Можно создать или удалить объект модели в определенный момент времени или при достижении заданного показателя используемого детектора, например, при достижении определенной температуры. В качестве примера заложим в программу открытие части окна Window 1 через 60 секунд после начала пожара. Для этого открываем список команд главного меню «Устройства» (Devices) (рис. 25). Выбираем Edit Activation Controls и открываем вкладку «Управление активацией» (Activation Controls), в которой указываем активируемый объект (Window 1), параметр, по которому будет производиться активация (Time), в чем активация будет заключаться – удаление (Remove), и указываем время активации (60 секунд) (рис. 26). На дереве объектов появляется новая ветвь – контроль (Controls) – с активируемым окном Window 1.

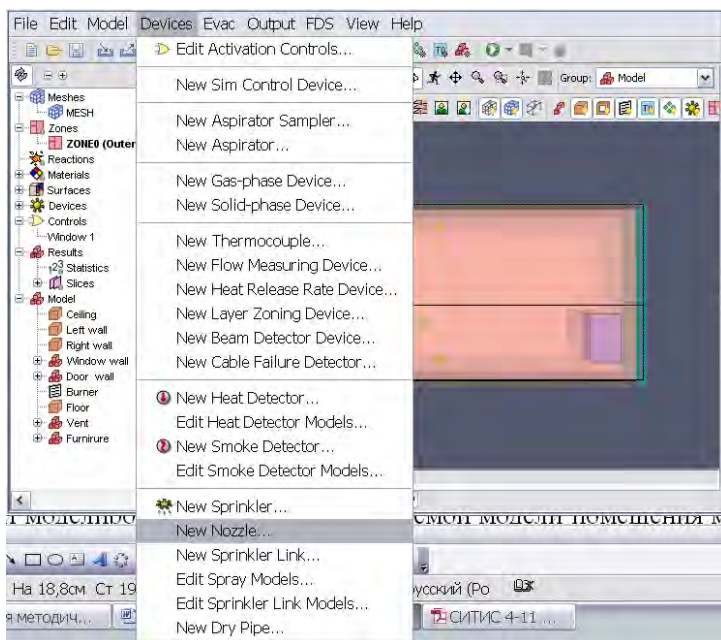


Рис. 25

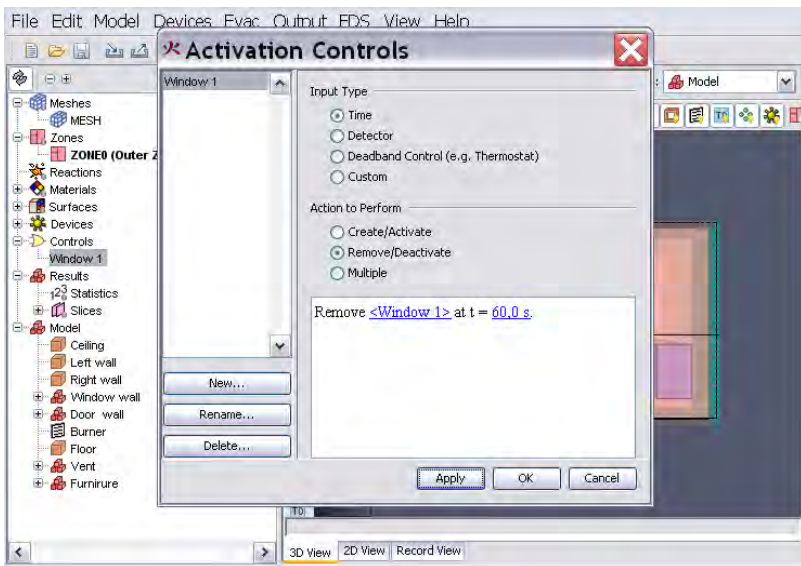


Рис. 26

При моделировании пожара в создаваемой модели помещения могут рассматриваться варианты пожара как в закрытом помещении, так и в помещении с естественной вентиляцией через окно или дверь. Для реализации варианта помещения с естественной вентиляцией нужно сделать открытыми наружные поверхности расчетной сетки, которые по умолчанию рассматриваются программой FDS как стенки. Для этого в меню «Модель» (Model) выбираем раздел «Новый вентилятор» (New Vent). Открывается вкладка «Свойства вентилятора» (Vent Properties), показанная на рис. 27.

На этой вкладке задаются общие свойства (General) открываемой поверхности сетки – присваивается имя, например, Vent 1; указывается группа, в которую помещается этот объект (Vent), задается тип поверхности (Open), цвет и степень прозрачности (Specify Color).

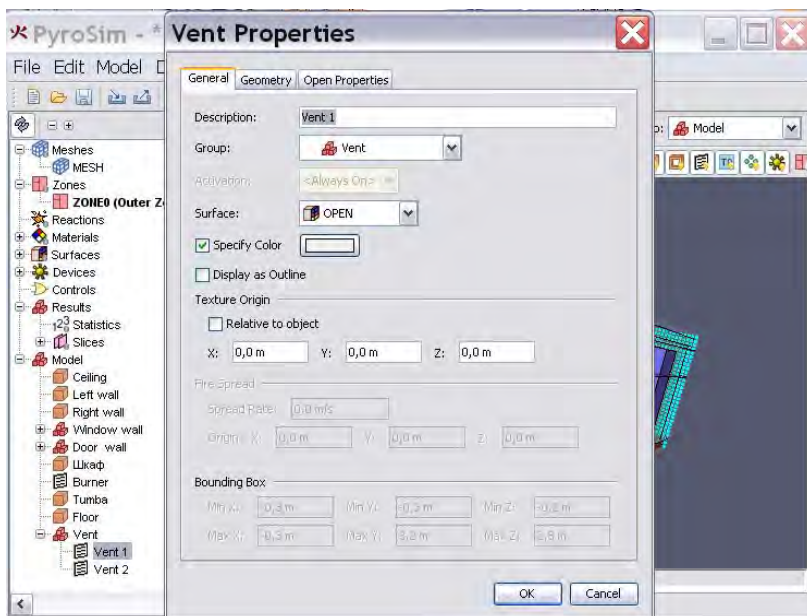


Рис. 27

При активации кнопки «Геометрия» (Geometry) вкладка «Свойства вентилятора» (Vent Properties) принимает следующий вид (рис. 28). На этой вкладке задаются координаты открываемой поверхности.

Таким же образом открывается и другая поверхность сетки, расположенная со стороны стены с дверью.

Свойства вентиляционного отверстия используются и для создания источника пожара, получающегося если поверхность вентиляционного отверстия геометрически совместить с встроенной в программу поверхностью «Горелка» (Burner). Чтобы это сделать, нужно открыть вкладку «Свойства вентилятора» (Vent Properties) (рис. 29).

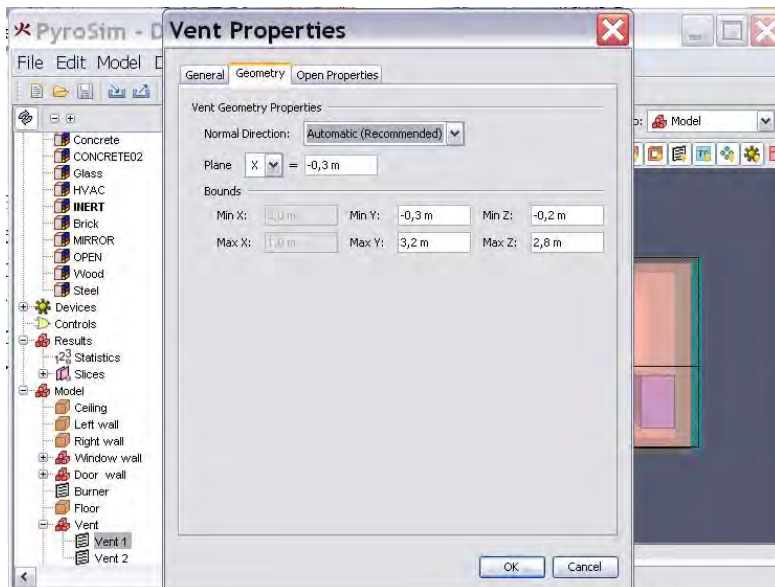


Рис. 28

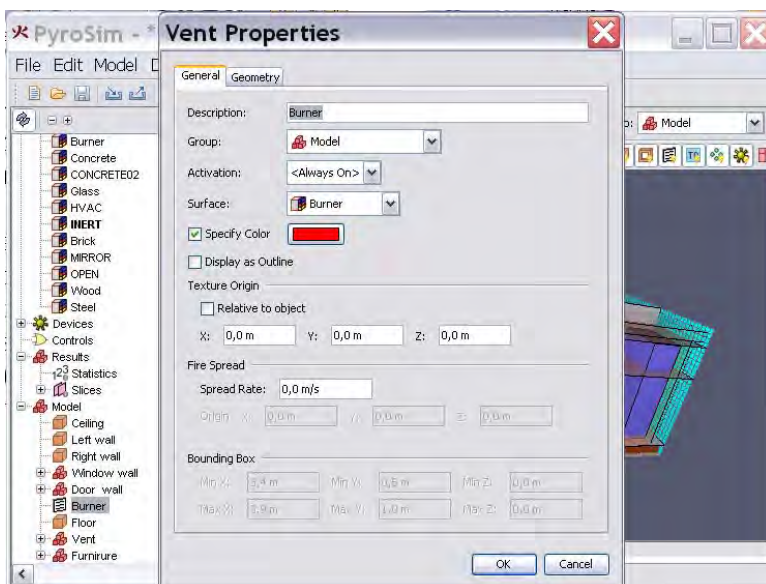


Рис. 29

В этой вкладке вентиляционному отверстию нужно присвоить имя, определить его положение на дереве объектов, придать поверхности вентиляционного отверстия свойства поверхности «Горелка» (Burner), задать цвет и степень прозрачности. Затем активировать кнопку «Геометрия» (Geometry) и задать координаты источника, определяющие его площадь, например, $0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ (м}^2\text{)}$, и положение в модели. При этом нужно иметь в виду, что источник пожара можно создать только на границе какого-либо препятствия, например, на полу, на столе, или на поверхности любого другого препятствия, так как вентиляционное отверстие по определению может находиться только на границе какого-либо препятствия.

Создав источник пожара необходимой площади, задаем требуемую мощность, для этого выбираем в главном меню «Модель» «Редактировать поверхности» (Edit Surfaces). В открывшейся вкладке (рис. 30) задаем величину удельного тепловыделения – Heat Release Rate Per Area (HRRPUA), например, 1000 кВт/м^2 .

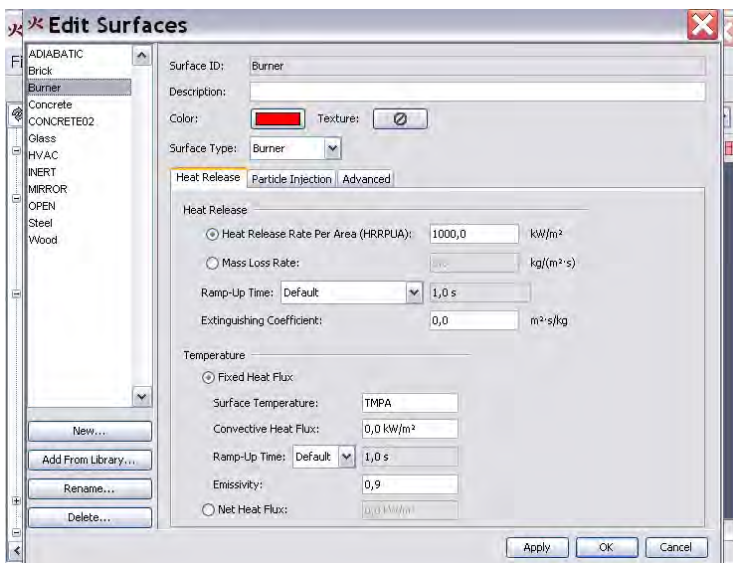


Рис. 30

Таким образом, создан источник пожара, мощность которого определяется как произведение его площади поверхности на величину удельного тепловыделения – $P_{\text{burner}} = 1000 \text{ кВт/м}^2 \times 0.25 \text{ м}^2 = 250 \text{ кВт}$.

Здесь же задаем использование безмассовых частиц, которые используются для отслеживания движения воздуха в процессе моделирования. Для этого открываем новую вкладку «Впрыскивание частиц» (Particle Injection) и устанавливаем на ней параметры, как показано на рис. 31.

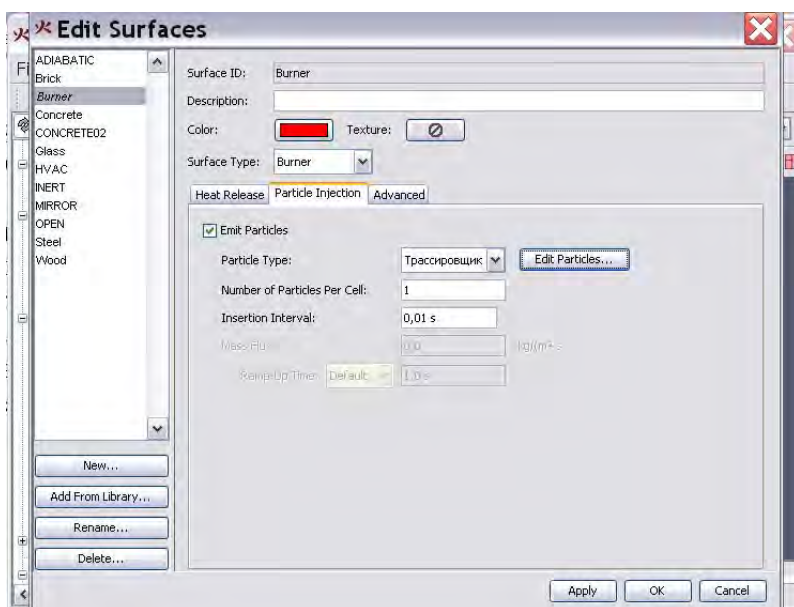


Рис. 31

Теперь определим и зададим выходные данные модели, получение которых и является целью моделирования. Например, зададим определение вертикальных распределений температуры и задымленности воздуха в помещении с шагом 0.15 м, начиная с высоты 0.09 м над уровнем пола, а также температу-

ры поверхности глухих стен на высоте порядка среднего роста человека. Чтобы получить эти данные нужно создать и разместить в соответствующих местах помещения датчики (детекторы) температуры и дыма. Начнем с задания датчиков температуры. Для их создания нужно в главном меню «Устройства» (Devices) (рис. 25) выбрать «Новое устройство в газовой фазе» (New Gas-phase Device). В рабочем окне откроется вкладка «Устройство в газовой фазе» (Gas-phase Device) рис. 32.

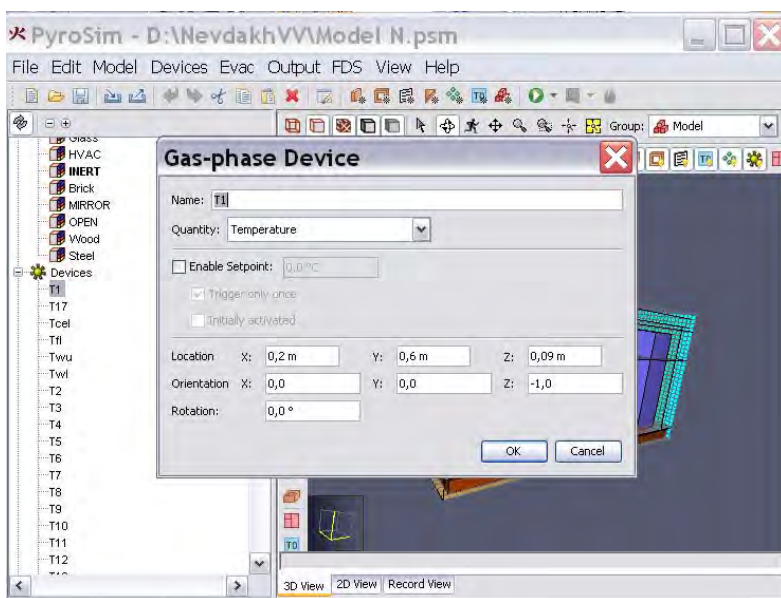


Рис. 32

В этой вкладке задаем обозначение датчика, например, T1, физическую величину, которую датчик будет определять, – температуру (Temperature), а также координаты, задающее его положение (Location) в модели. После нажатия кнопки «ОК» на ветви «Устройства» (Devices) дерева объектов появится обозначение датчика T1.

Аналогичным образом создаем и размещаем в модели все остальные требуемые датчики температуры воздуха.

Для создания датчиков дыма на этой же панели (Devices) выбираем «Новый детектор дыма» (New Smoke Detector). Откроется вкладка «Детектор дыма» (Smoke Detector) (рис. 33), в которой задаем обозначение датчика, например, SD1, координаты, задающее его положение (Location) в модели, и выбираем тип модели (Model), по которой этот датчик будет определять величину задымления воздуха в месте его расположения. Размерность этой физической величины – %/м. Задымление 0 %/м означает, что воздух прозрачен, т. е. что дыма в воздухе нет, а задымление 100 %/м означает, что в воздухе присутствует дым, полностью блокирующий видимое излучение на расстоянии 1 м.

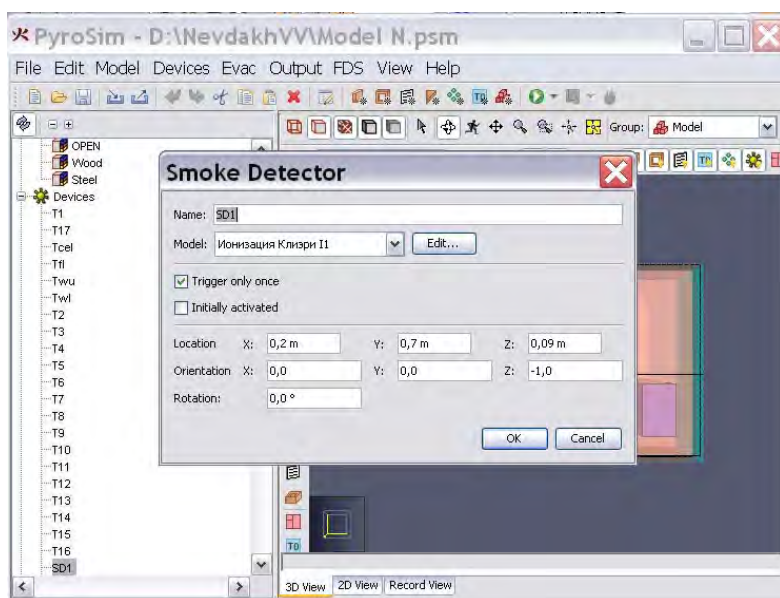


Рис. 33

Выбираем в меню «Редактировать» (Edit) вкладку «Модели детектора дыма» (Smoke Detector Models) (рис. 34), в которой задается порог срабатывания (Obscuration Threshold) и спецификация детектора дыма (Detector Specification) – значения

коэффициентов, фигурирующих в выбранной модели. После нажатия кнопки «ОК» на ветви «Устройства» (Devices) дерева объектов появится обозначение датчика SD1.

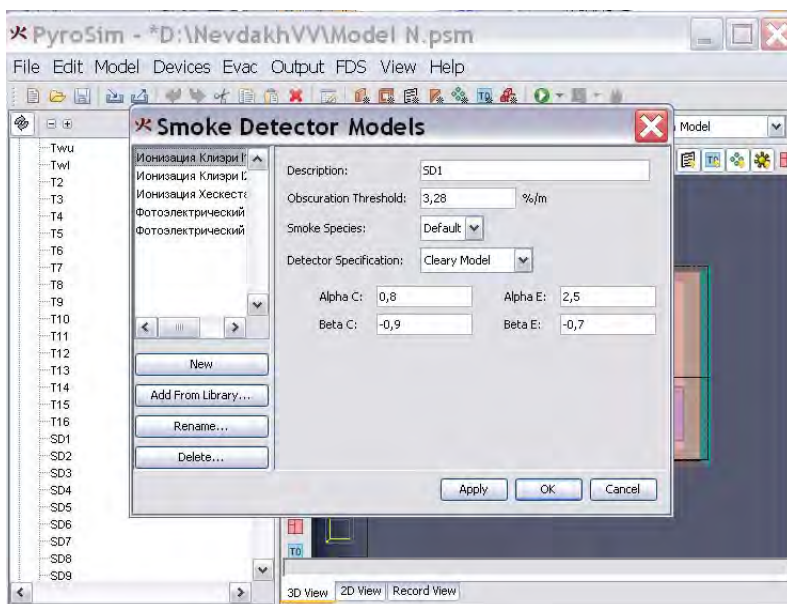


Рис. 34

Все остальные детекторы дыма создаются и размещаются аналогично.

Для определения температуры поверхности стен в программе предусмотрены другие детекторы температуры, которые задаются в аналоговом окне «Новое устройство для твердых тел» (New Solid-phase Device). После активации этого раздела в рабочем окне открывается вкладка «Устройство для твердого тела» (Solid-phase Device) (рис. 35). Здесь задаем обозначение детектора, например, TwR, физическую величину, которую этот детектор будет определять – температуру поверхности (Adiabatic Surface Temperature), координаты, задающие его положение (Location) на поверхности препятствия и ориентацию этой

поверхности в используемой системе координат. Ориентация выбирается в направлении «от» поверхности. Если, например, определяется температура верха объекта, то нужно задавать $+Z$. В приводимом примере стенка, температуру поверхности которой должен определять создаваемый детектор, – это плоскость $Y = 3$ м. Нормаль к этой поверхности направлена навстречу оси OY , поэтому задаем $Y = -1.0$.

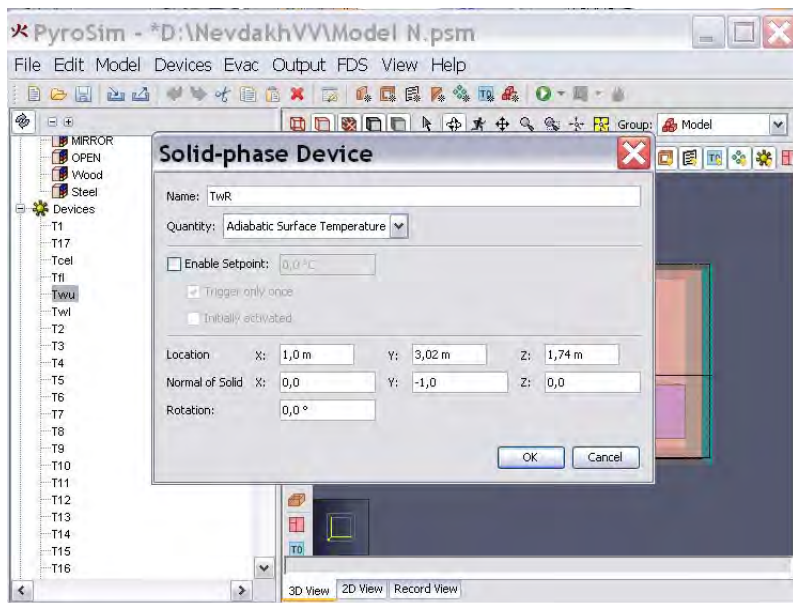


Рис. 35

После нажатия кнопки «ОК» на ветви «Устройства» (Devices) дерева объектов появится обозначение датчика TwR.

Точно так же задаем и другой детектор TwL для определения температуры поверхности другой стенки помещения, параллельной первой. Ориентация этой поверхности задается уже как $Y = 1.0$.

Программа PyroSim предусматривает возможность отображения некоторых рассчитываемых моделью факторов пожара,

значения которых расположены в определенных плоскостях (Slices). Для этого нужно выбрать оси, перпендикулярно которым должны располагаться плоскости, и задать их положение относительно начала координат. В качестве примера зададим несколько анимированных плоскостей для визуализации температуры. Это осуществляется с помощью списка команд, открывающегося после нажатия кнопки «Результаты» (Output) главного меню. В этом списке выбираем «Анимированные поверхности» (Slices) и открываем вкладку «Анимированные плоскости» (Animated Planar Slices). Задаем три горизонтальные плоскости $Z = 0.09$, 1.74 и 2.42 м, и одну вертикальную плоскость $Y = 1.25$ м (рис. 36). После нажатия «ОК» обозначения анимированных плоскостей и отображаемый ими параметр (Temperature) появятся на ветви «Результаты» (Results) дерева объектов в группе «Анимированные поверхности» (Slices).

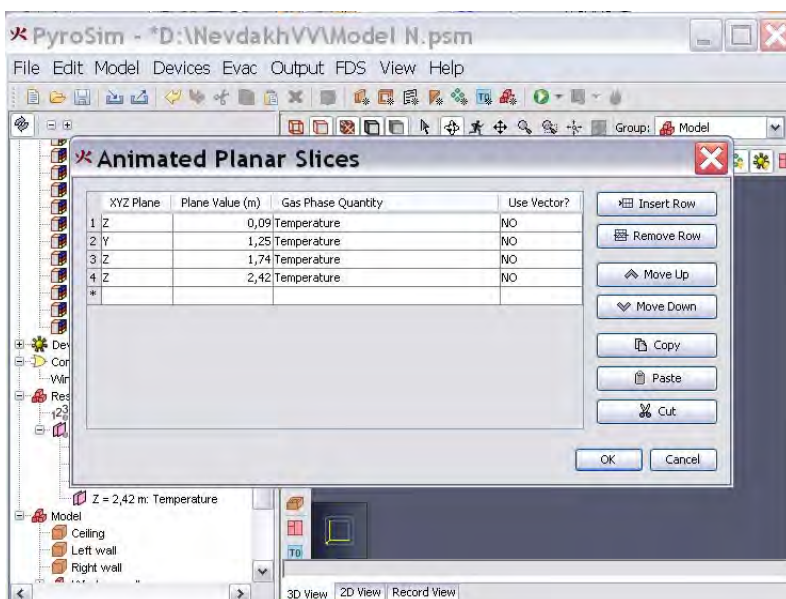


Рис. 36

Модель практически готова. Осталось задать время моделирования пожара. Для этого в списке команд главного меню FDS выбираем «Параметры моделирования» (Simulation Parameters). В рабочем окне открывается вкладка «Параметры моделирования» (Simulation Parameters) (рис. 37), в которой устанавливаем начало (Start Time) – 0 с, и конец (End Time) – например, 15 с моделирования.

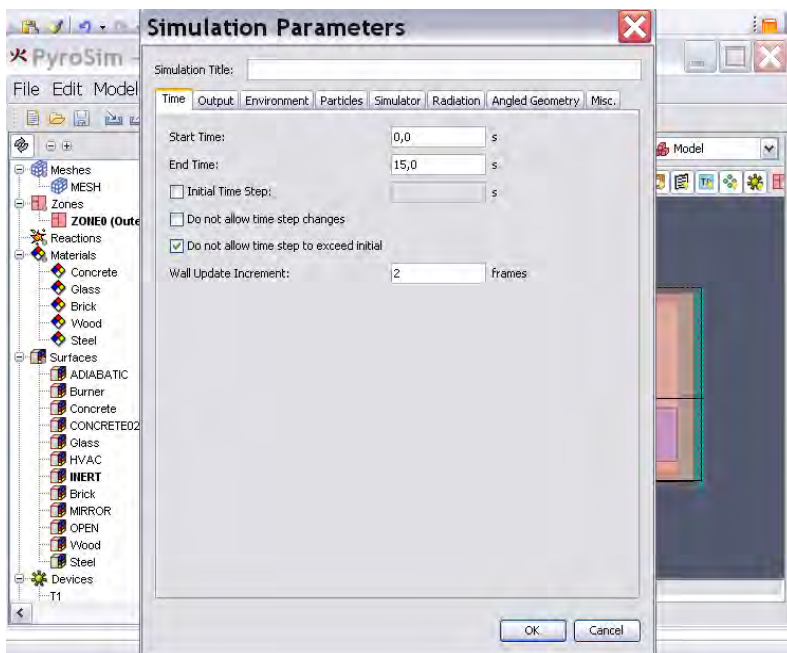


Рис. 37

Вид рабочего окна программы PyroSim с созданной моделью комнаты, представлен на рис. 38.

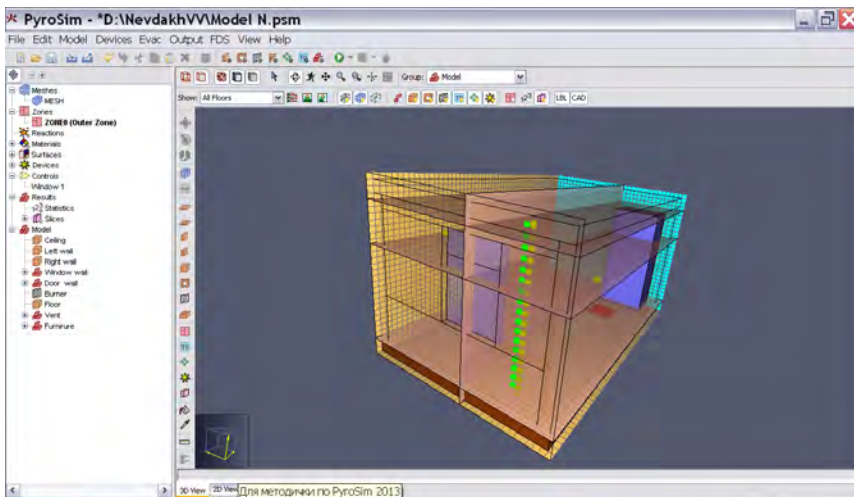


Рис. 38

ПОДГОТОВКА ВХОДНОГО ТЕКСТОВОГО ФАЙЛА ДЛЯ ПРОГРАММЫ FDS

Для работы программы FDS нужен входной текстовый файл. Он получается путем экспорта файла (модели), созданного в программе PyroSim, через меню «Файл» (File) (рис. 39).

В команде Export выбираем «Файл FDS» (FDS File). Открывается вкладка, в которой указываем место для сохранения созданного входного текстового файла (обычно это та же папка, в которой находится модель программы PyroSim – файл Model N), например, папку «Модели» (рис. 40).

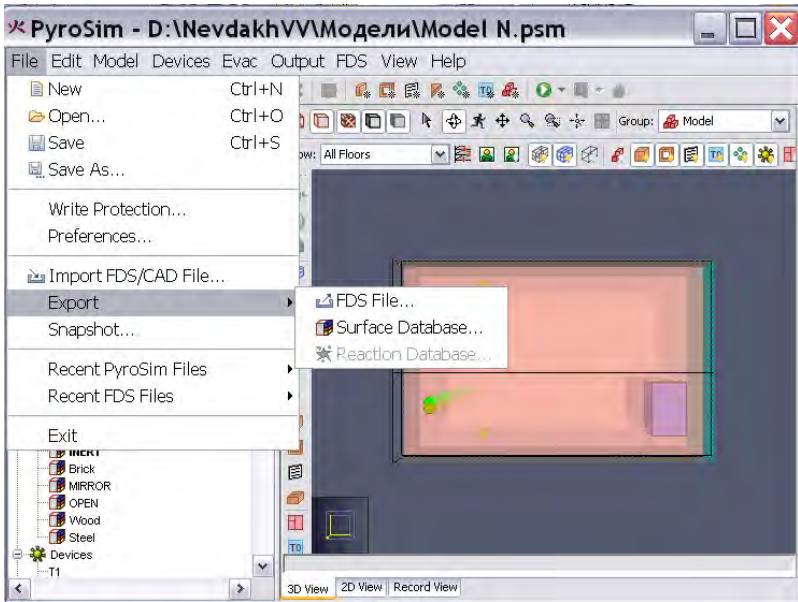


Рис. 39

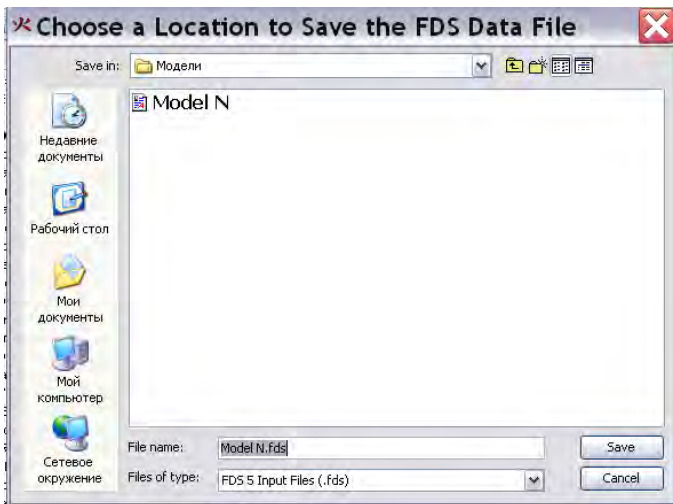


Рис. 40

Содержимое папки «Модели» после выполнения команды «Сохранение» (Save) показано на рис. 41.

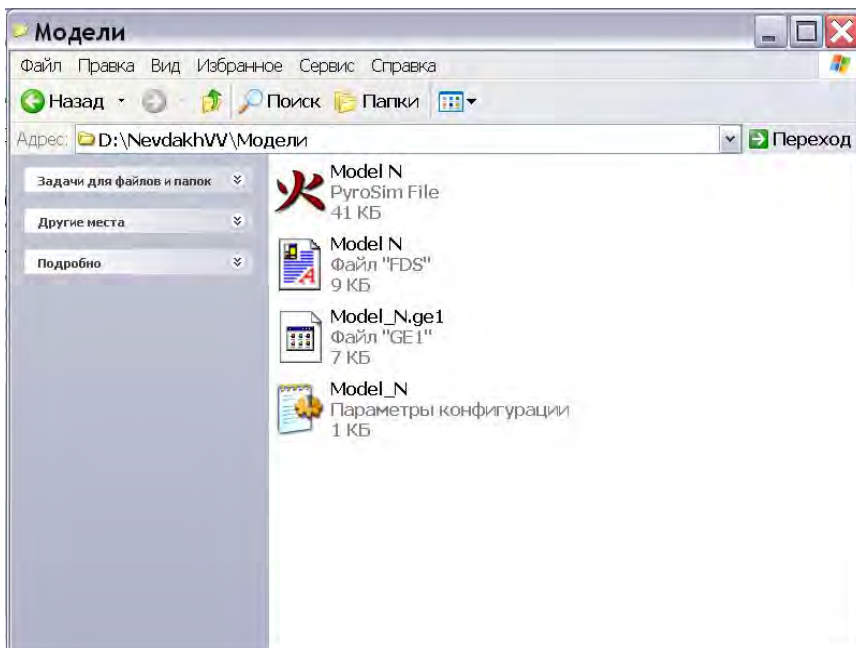


Рис. 41

Для запуска расчета программой FDS нужно два раза щелкнуть левой кнопкой мыши по полученному входному текстовому файлу с расширением *.fds (Файл FDS). Состояние процесса расчета отражается на вкладке (рис. 42).

После окончания счета в папке «Модели» помещаются файлы для визуализации полученных результатов расчета с помощью программы SmokeView и таблицы в редакторе Excel с численными данными результатов расчета (рис. 43).

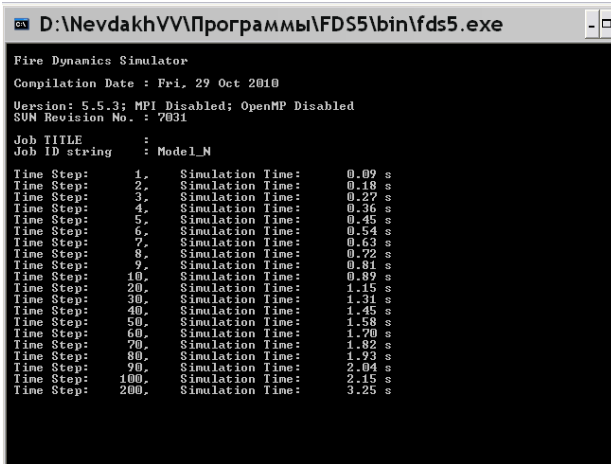


Рис. 42

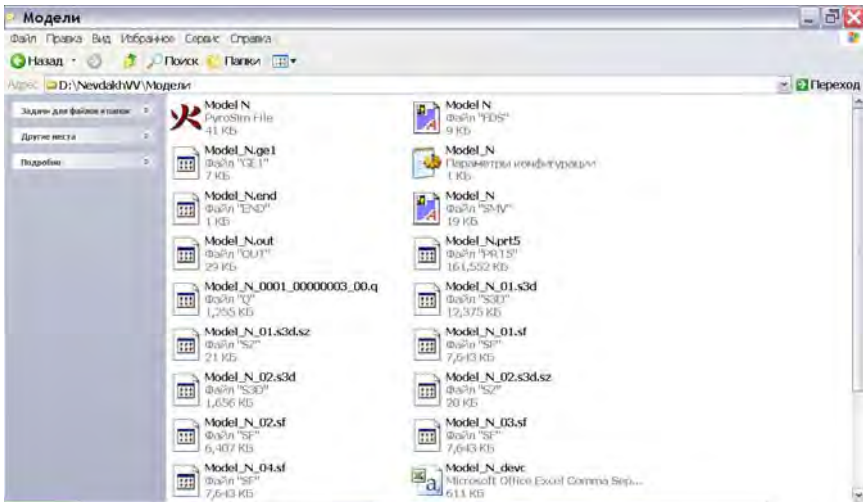


Рис. 43

Программу FDS можно запустить и другим способом: непосредственно из файла, созданного в программе PyroSim (см. рис. 38), через кнопку FDS, при нажатии которой рабочее окно принимает следующий вид (рис. 44). Запуск осуществляется щелчком по Run FDS. Открывается вкладка «Моделирова-

ние FDS» (FDS Simulation), на которой отображается состояние процесса расчета (рис. 45).

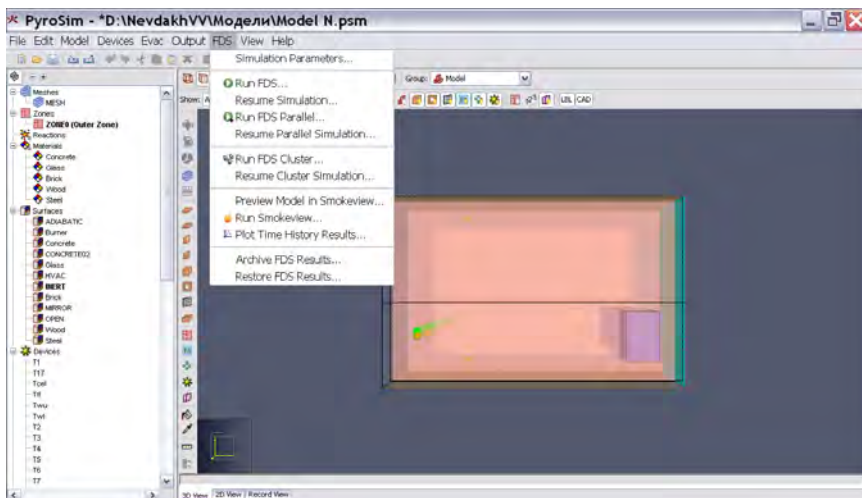


Рис. 44

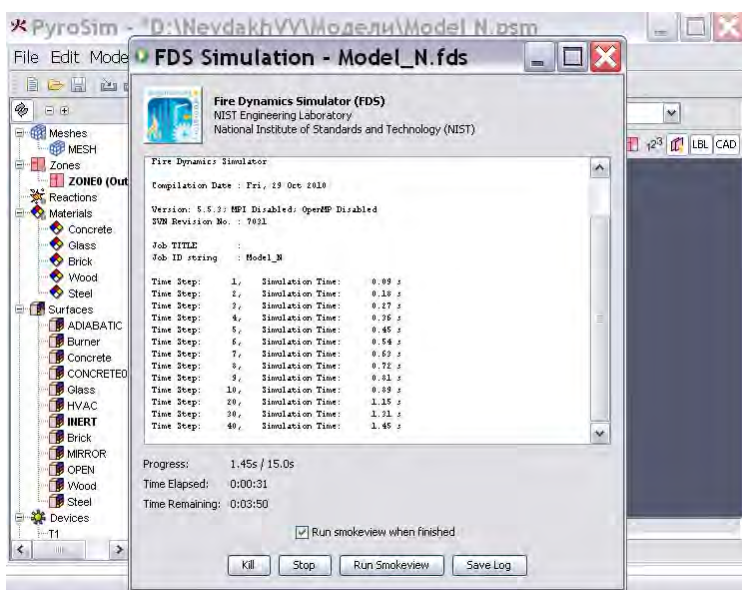


Рис. 45

После завершения работы программы FDS в папке «Модели» появляется новая папка с таким же именем, как и у файла модели PyroSim – Model N, в которой находятся все файлы, которые были и в первом способе запуска программы FDS (см. рис. 43).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Просмотр результатов проведенного расчета реализуется с помощью специальной программы визуализации данных SmokeView, работающей с файлом, имеющим расширение *.smv. После запуска этого файла двойным щелчком левой кнопки рабочее окно принимает вид, показанный на рис. 46.

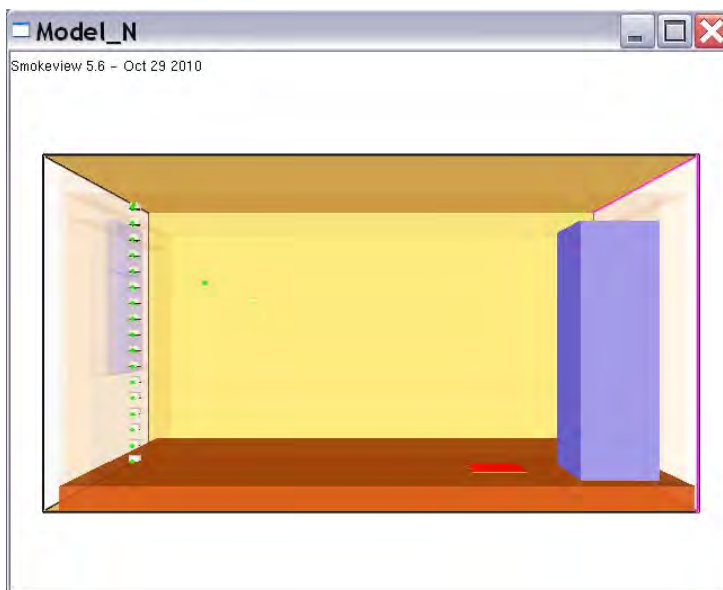


Рис. 46

Щелчком правой кнопки в поле окна открываем контекстное меню и через «Загрузить/Выгрузить» (Load/Unload) выбираем содержание результатов для просмотра промоделированного пожара (рис. 47).

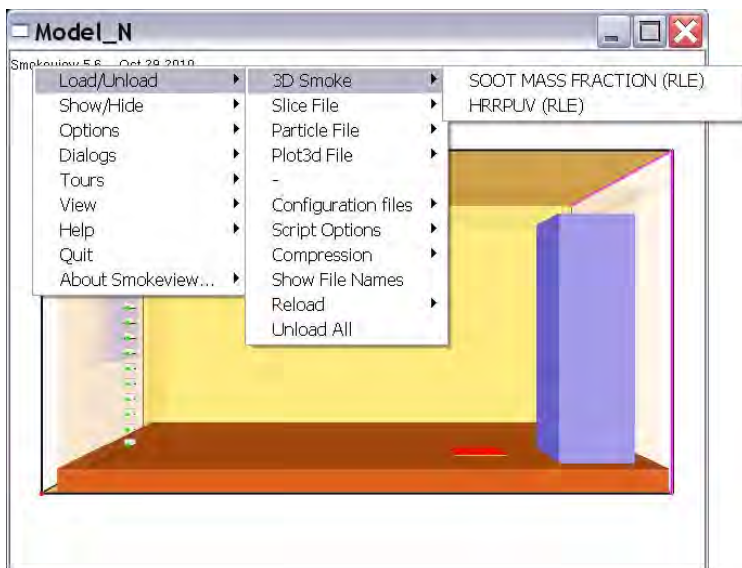


Рис. 47

Просмотр полученных результатов можно осуществлять либо в динамике, сдвигающимся в нижней строке указателем текущего момента времени от начала пожара, либо в статике с ручным выбором любого момента времени на интервале моделирования.

На рис. 48 представлено пространственное распределение удельного тепловыделения (HRRPUV) и дыма (Soot Mass Fraction) на 15-й секунде стационарного пожара мощностью 250 кВт.

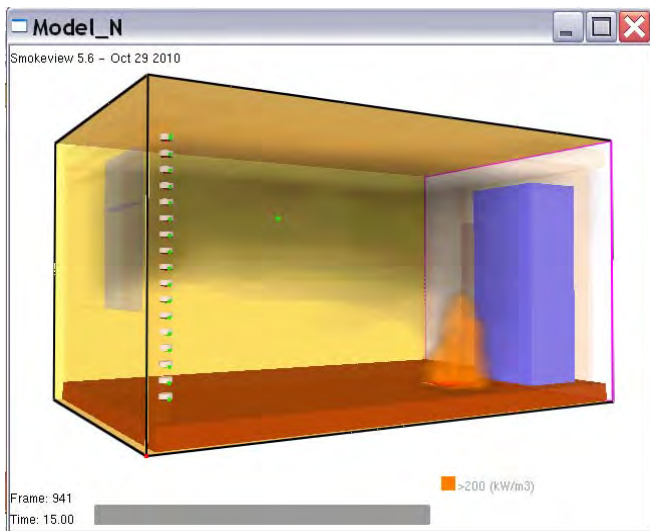


Рис. 48

Пример пространственного распределения безмассовых частиц, показывающих движение воздуха в процессе пожара, также на 15-й секунде пожара приведен на рис. 49.

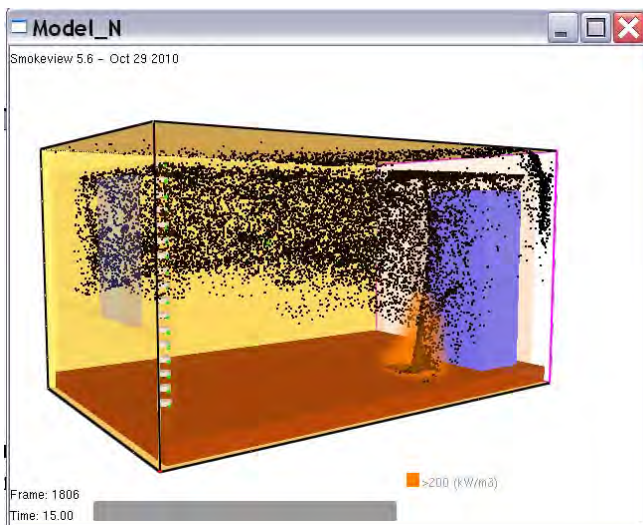


Рис. 49

Пространственные распределения температуры воздуха на 8-й секунде пожара в комнате в трех горизонтальных плоскостях, расположенных на высотах 0.09, 1.74 и 2.42 м над уровнем пола, отображаемые анимированными плоскостями (Slices), представлены на рис. 50. В правой части окна находится цветная шкала температуры.

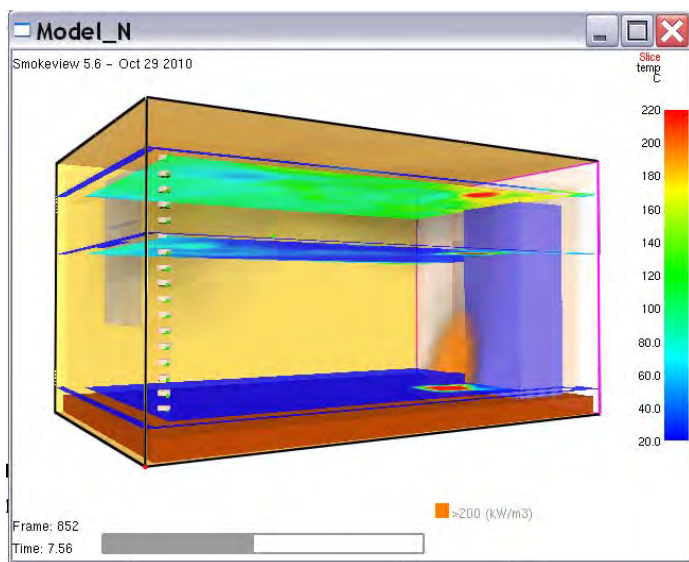


Рис. 50

Пример отображения анимированной плоскостью вертикального распределения температуры воздуха в комнате показан на рис. 51.

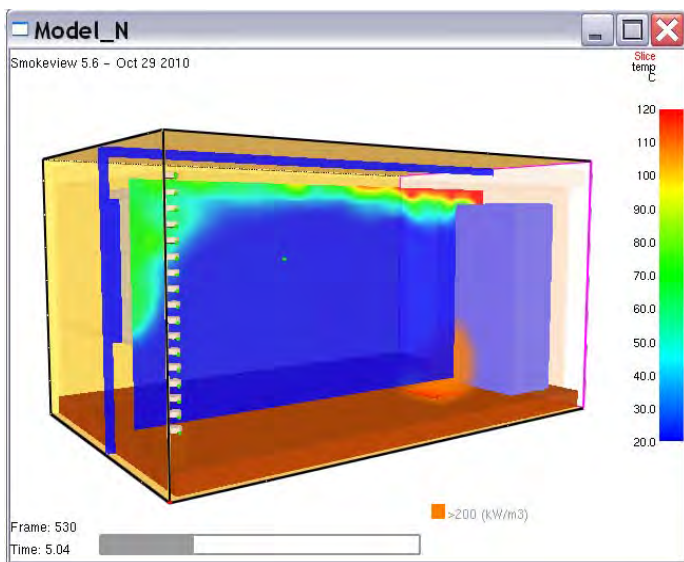


Рис. 51

Выходные данные по параметрам пожара, полученные программой FDS, после окончания расчетов представляются в виде двух таблиц значений этих параметров в фиксированные моменты времени. Таблицы данных выполнены в редакторе Microsoft Office Excel. Таблица Model_N_hrr содержит данные по полному тепловыделению (HRR) и его составляющим. В таблице Model_N_devc помещены значения физических величин, полученных с помощью используемых в программе детекторов. Модель в программе PyroSim позволяет осуществлять просмотр этих данных в виде зависимостей от времени. Для этого нужно открыть меню FDS (см. рис. 44) и выбрать «Построить зависимости от времени результатов моделирования» (Plot Time History Results). В рабочем окне открывается вкладка «Выбор зависимости от времени» (Choose a Time History Plot) (рис. 52). Выбираем, например, таблицу Model_N_hrr, и нажимаем «Открыть» (Open). Вид открывшегося рабочего окна «Зависимости от времени» (Time History Plots) с зависимостью полного тепловыделения от времени пожара показан на рис. 53.

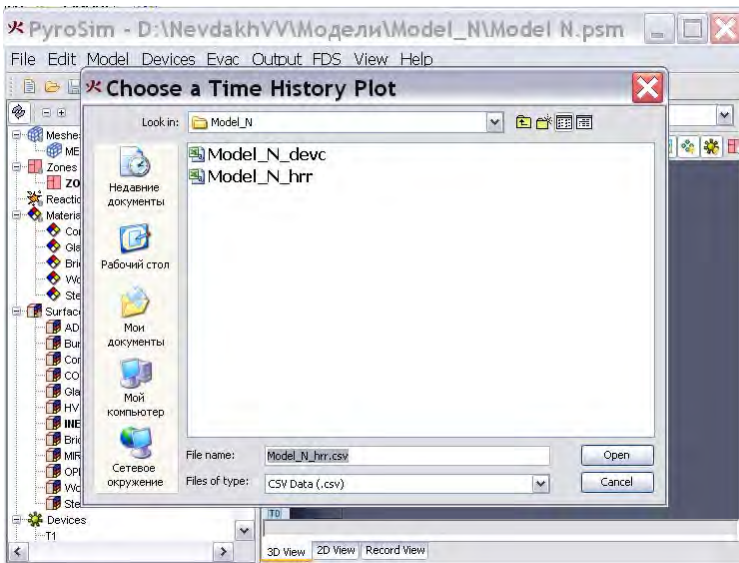


Рис. 52

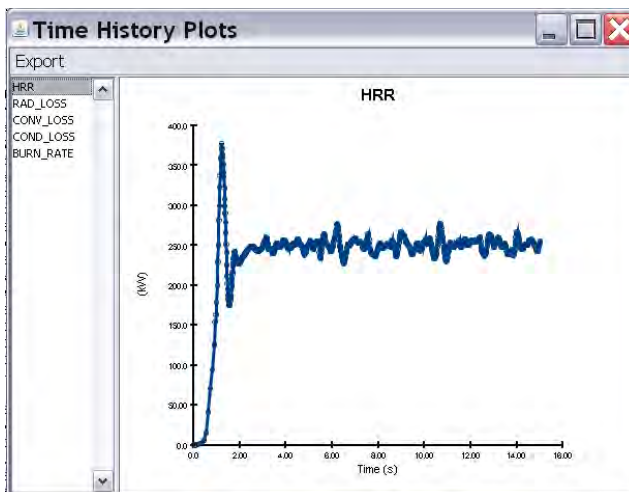


Рис. 53

Таким образом, можно посмотреть зависимости от времени пожара всех величин, представленных в таблице.

При выборе таблицы Model_N_devс в рабочем окне появляется список всех используемых в модели детекторов и зависимость от времени для физической величины, определяемой выделенным детектором. Примеры зависимостей от времени температуры и задымленности воздуха на высоте 2.49 м от уровня пола представлены на рис. 54 и 55 соответственно.

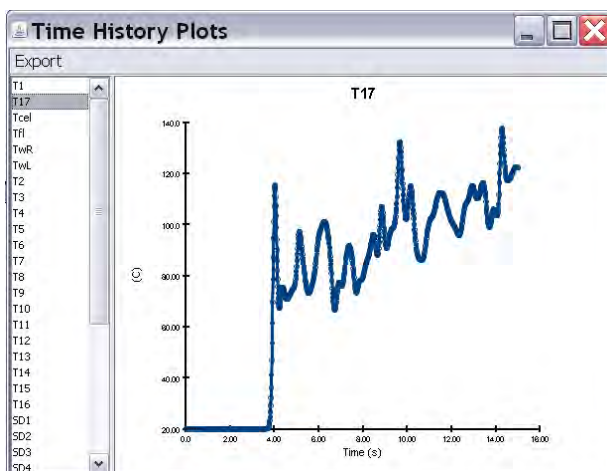


Рис. 54

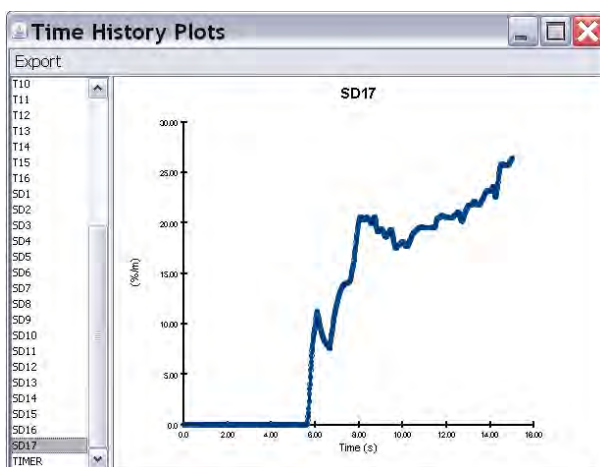


Рис. 55

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ В ПРОГРАММЕ MICROSOFT OFFICE EXCEL

При проведении анализа результатов моделирования пожара возникает ряд задач, например:

сравнение зависимостей от времени данных, полученных однородными детекторами, расположенными в различных местах модели;

сравнение зависимостей от времени данных одних и тех же детекторов, полученных при различных условиях моделирования;

построение и сравнение пространственных распределений величин, полученных однородными детекторами в различные моменты времени.

Для решения этих задач необходимо строить на одном рисунке семейства зависимостей. Возможности программы PyroSim не позволяют получать такие рисунки. Для этих целей нужно использовать возможности других специальных графических редакторов. Так как выходные данные результатов моделирования с помощью программы FDS представляются в виде численных таблиц редактора Microsoft Office Excel, то логично использовать возможности этого редактора для решения вышеперечисленных задач.

Рассмотрим порядок построения диаграмм в редакторе Microsoft Office Excel по данным, например, таблицы Model_N_hrr (рис. 56).

Видно, что в такой таблице все данные сведены в один столбец. Каждое число представлено в экспоненциальной форме с точкой в качестве разделительного знака. Большинство зависимостей строятся в линейных координатах, поэтому нужно перейти от представления чисел в экспоненциальной форме к обычной числовой. Кроме того, разделительный знак «.» (точку) необходимо заменить на «,» (запятую), так как программа Microsoft Office Excel не воспринимает «.» (точку) в качестве разделительного знака. Чтобы привести таблицу в пригодный для построения зависимостей в программе Excel вид необходимо выполнить ряд действий.

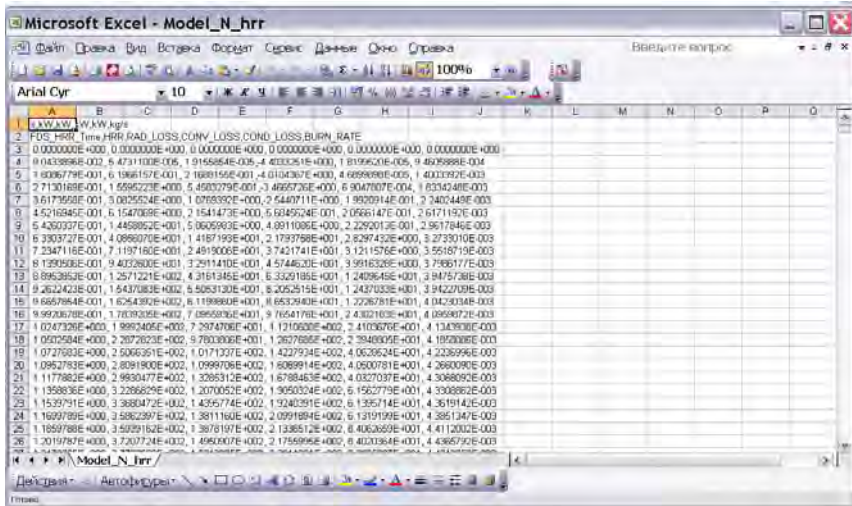


Рис. 56

Комбинацией клавиш «Ctrl+A» выделяется один столбец из всех привнесенных в таблицу данных. В меню «Данные» выбирается вкладка «Текст по столбцам», после чего рабочее окно принимает вид, показанный на рис. 57.

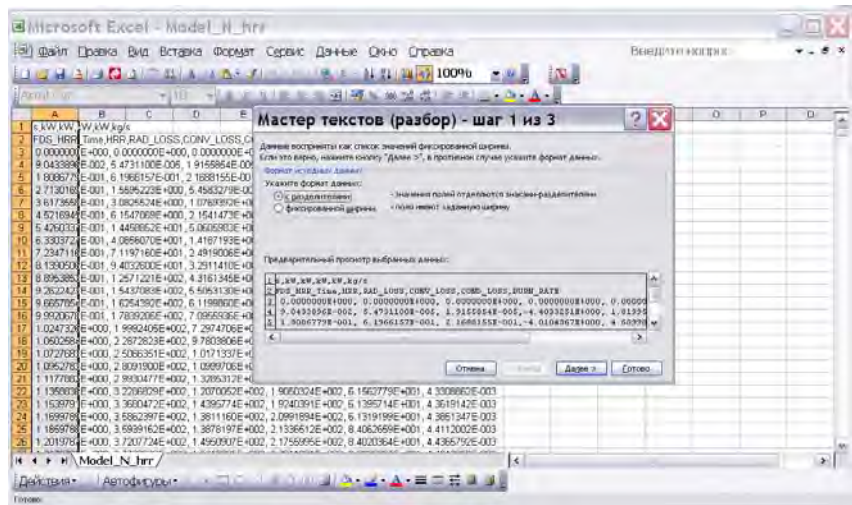


Рис. 57

Используя вкладку «Мастер текстов», на шаге 1 из 3 указываем формат данных «с разделителями» и нажимаем «Далее». Рабочее окно принимает следующий вид (рис. 58).

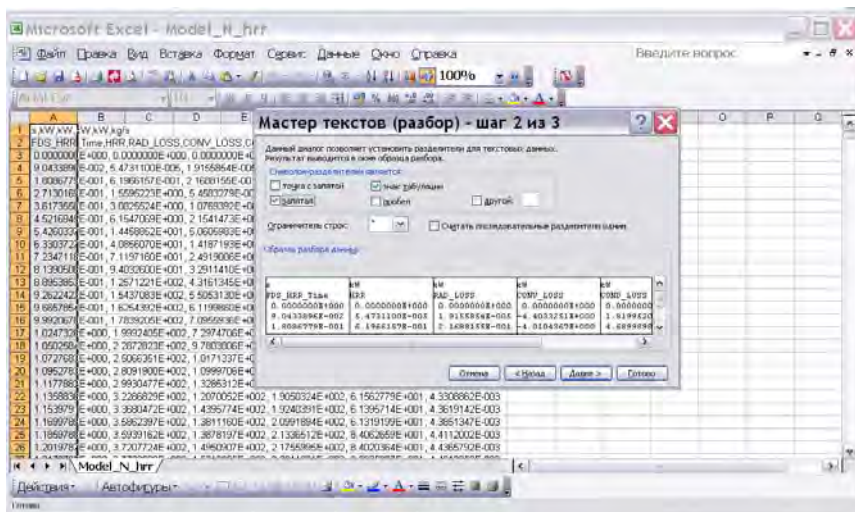


Рис. 58

На шаге 2 из 3 отмечаем символы-разделители «знак табуляции» и «запятая», а остальные данные – по умолчанию, нажимаем «Далее». Рабочее окно принимает вид, показанный на рис. 59.

На шаге 3 из 3 устанавливаем формат данных для каждого столбца. Для этого нажимаем «Подробнее» и в открывшейся вкладке «Дополнительная настройка импорта текста» в разделе «Разделитель целой и дробной части» выбираем «.» (точка), в разделителе разрядов – «,»(запятая) (рис. 60).

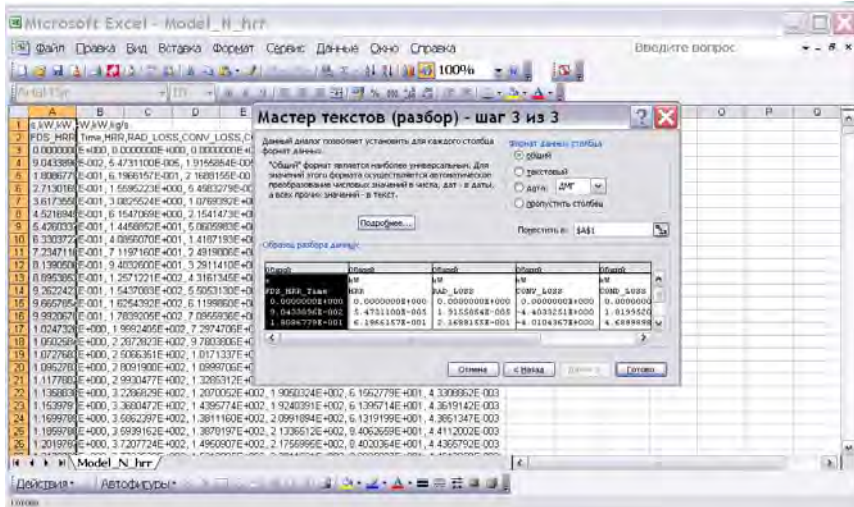


Рис. 59

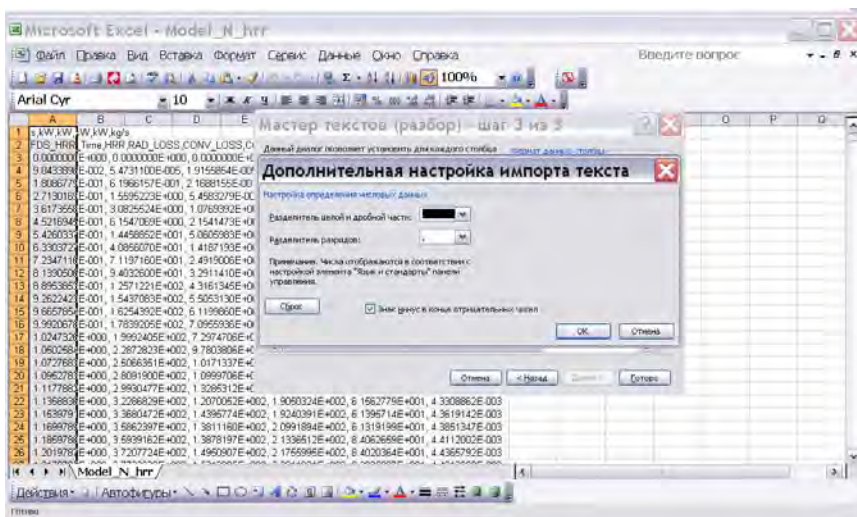


Рис. 60

После нажатия «ОК» и «Готово» таблица с данными принимает следующий вид (рис. 61).

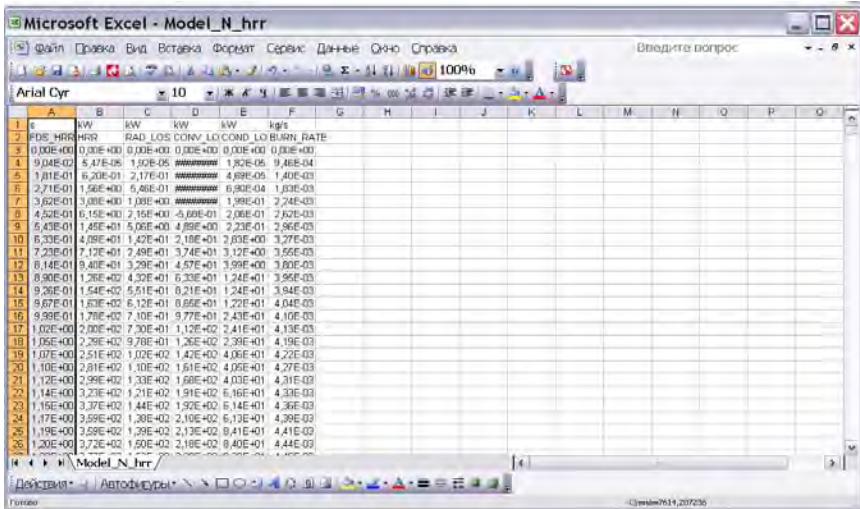


Рис. 61

Для того чтобы перейти от экспоненциальной формы записи величин к натуральным числам, нажимаем комбинацию клавиш «Ctrl+A», переходим в меню «Формат», выбираем «Ячейки» – «Число». Откроется вкладка «Формат ячеек». В поле «Число» – «Числовые форматы» вкладки выбираем формат «Числовой» и вводим необходимое число десятичных знаков, например, 2. Все остальные параметры оставляем по умолчанию (рис. 62).

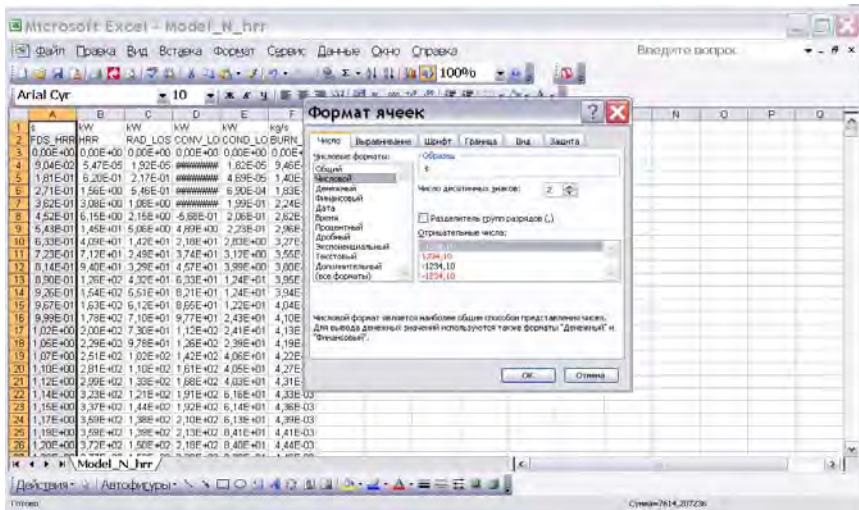


Рис. 62

После нажатия «ОК» таблица принимает следующий вид (рис. 63).

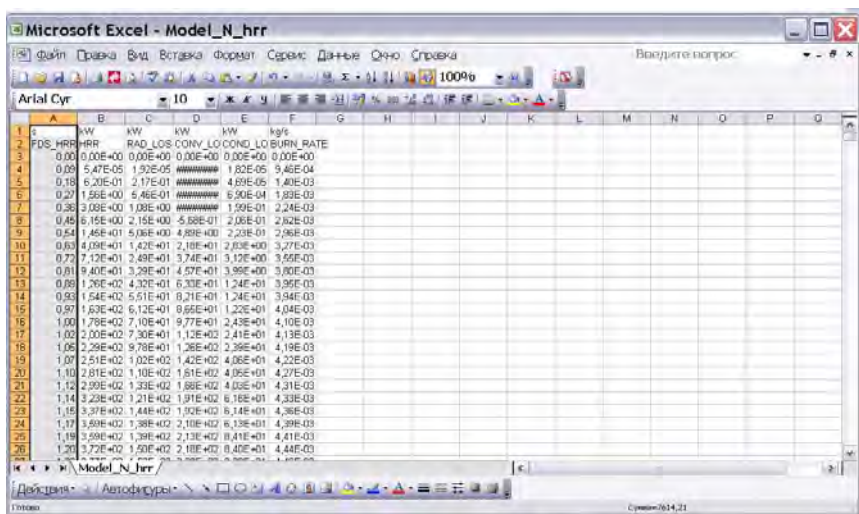


Рис. 63

Для того чтобы перейти от экспоненциальной формы записи величин к натуральным числам, нажимаем комбинацию клавиш «Ctrl+A», переходим в меню «Формат», выбираем «Ячейки» – «Число». Открывается вкладка «Формат ячеек». В поле «Число» – «Числовые форматы» выбираем формат «Числовой» и вводим необходимое число десятичных знаков, например, 2. Все остальные параметры оставляем по умолчанию (рис. 64).

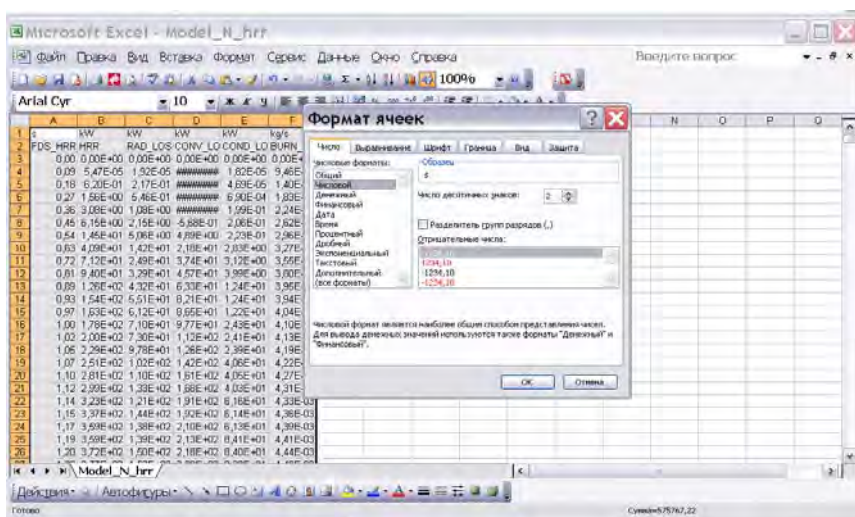


Рис. 64

После нажатия кнопки «OK» таблица принимает вид, показанный на рис. 65. Сохраняем эту преобразованную таблицу данных для дальнейшего использования.

	A	B	C	D	E	F
1		kW	kW	kW	kW	kg/s
2	FDS	HRR	Rad_Los	Conv_Los	Cond_Los	BURN_RATE
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,09	0,00	0,00	-4,40	0,00	0,00
5	0,18	0,62	0,22	-4,01	0,00	0,00
6	0,27	1,56	0,55	-3,47	0,00	0,00
7	0,36	3,08	1,08	-2,54	0,20	0,00
8	0,45	6,15	2,15	-1,57	0,21	0,00
9	0,54	14,46	5,03	-4,69	0,22	0,01
10	0,63	40,86	14,19	21,79	2,83	0,00
11	0,72	71,20	24,92	37,42	3,12	0,00
12	0,81	94,03	32,91	45,74	3,99	0,00
13	0,89	125,71	43,16	53,33	12,41	0,00
14	0,93	154,37	55,05	62,05	12,44	0,00
15	0,97	162,54	61,20	86,53	12,23	0,00
16	1,00	178,29	70,96	97,66	24,30	0,00
17	1,02	199,92	72,97	112,11	24,10	0,00
18	1,05	229,73	97,80	126,28	23,95	0,01
19	1,07	260,66	101,71	142,35	40,83	0,01
20	1,10	280,92	110,00	160,70	40,00	0,00
21	1,12	299,20	132,85	167,80	40,33	0,00
22	1,14	322,67	120,70	190,50	61,66	0,00
23	1,15	336,80	143,95	192,40	61,40	0,00
24	1,17	358,62	138,11	209,92	61,52	0,00
25	1,19	389,89	138,78	213,37	84,66	0,01
26	1,20	372,08	149,51	217,56	84,02	0,00

Рис. 65

В преобразованной таблице данные представлены уже в виде отдельных столбцов, состоящих из чисел в обычном формате с запятой в качестве разделителя целой и дробной частей, т. е. именно в том виде, который воспринимается программой Microsoft Office Excel для построения зависимостей. Первая колонка – время моделирования (FDS Time) в секундах (s), вторая – полное тепловыделение (HRR) в кВт (kW), третья – радиационные потери (Rad_Los) в кВт (kW), четвертая – конвективные потери (Conv_Los) в кВт (kW), пятая – кондуктивные потери (Cond_Los) в кВт (kW), шестая – массовая скорость горения (Burn_Rate) в кг/с (kg/s).

Построим, например, на одном рисунке две зависимости, иллюстрирующие изменение 1) полного тепловыделения и 2) радиационных потерь от времени. Это означает, что на рисунке ось X будет осью времени от начала пожара, а ось Y – осью тепловыделения. В преобразованной таблице данных можно или сразу выделить только колонки с этими данными и строить две зависимости, или использовать все данные и постро-

ить все пять зависимостей, а потом удалить лишние. Рассмотрим второй вариант.

Открываем в редакторе Excel преобразованную таблицу, выделяем все колонки с данными «Ctrl+A», и, используя в главном меню команду «Вставка», открываем раздел «Диаграммы». Появится диалоговое окно «Мастер диаграмм (шаг 1 из 4)», в котором во вкладке «Стандартные» выбираем тип диаграмм «Точечная» и представление данных в виде зависимостей, представляющих собой экстраполяционные кривые, проведенные через рассчитанные значения из таблицы, как показано на рис. 66.

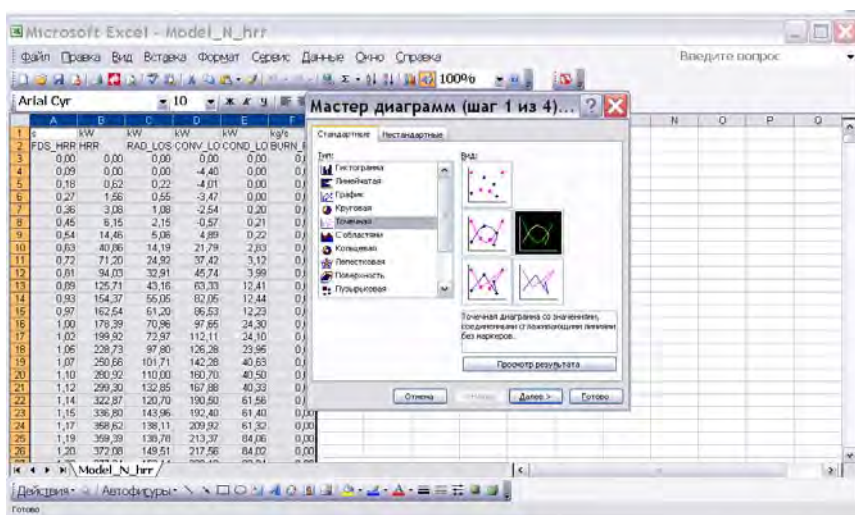


Рис. 66

Нажимаем «Далее» и в окне появляется новая вкладка «Мастер диаграмм (шаг 2 из 4)» (рис. 67).

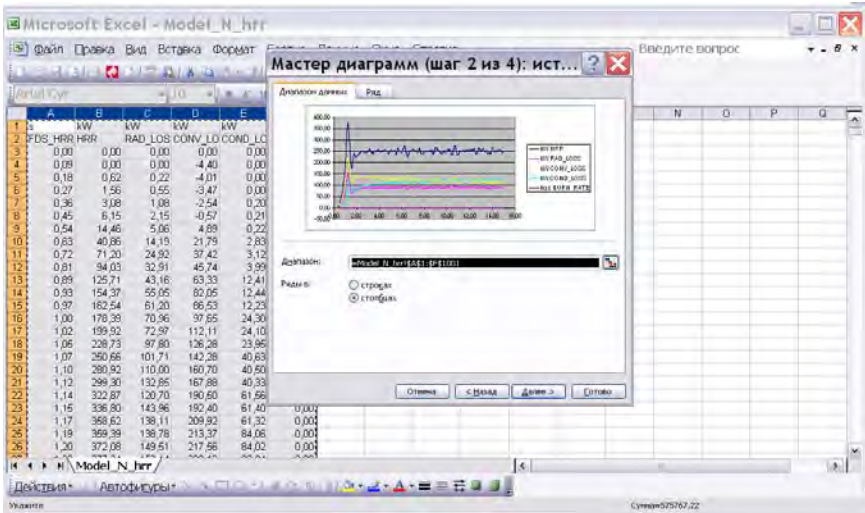


Рис. 67

На шаге 2 из 4 открываем окно «Ряд» и удаляем в нем все лишние зависимости, оставив только HRR и Rad_Los (рис. 68).

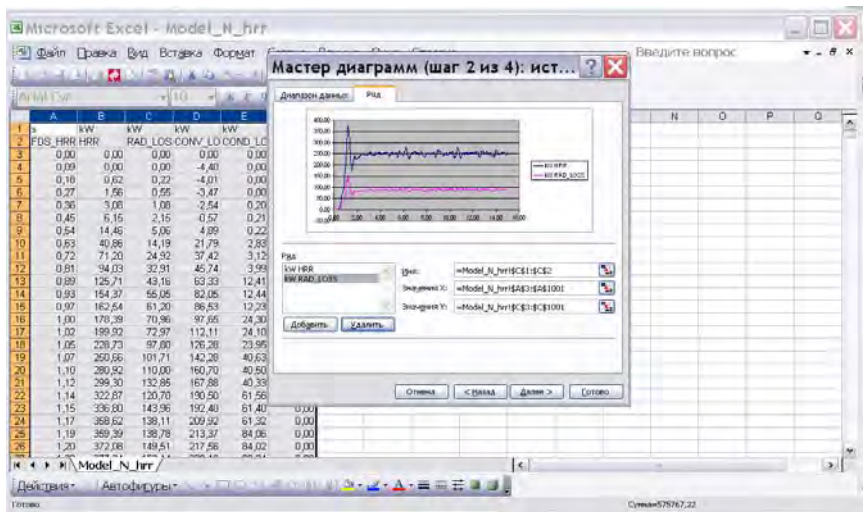


Рис 68

Нажимаем «Далее» и в окне появляется новая вкладка «Мастер диаграмм (шаг 3 из 4)» (рис. 69).

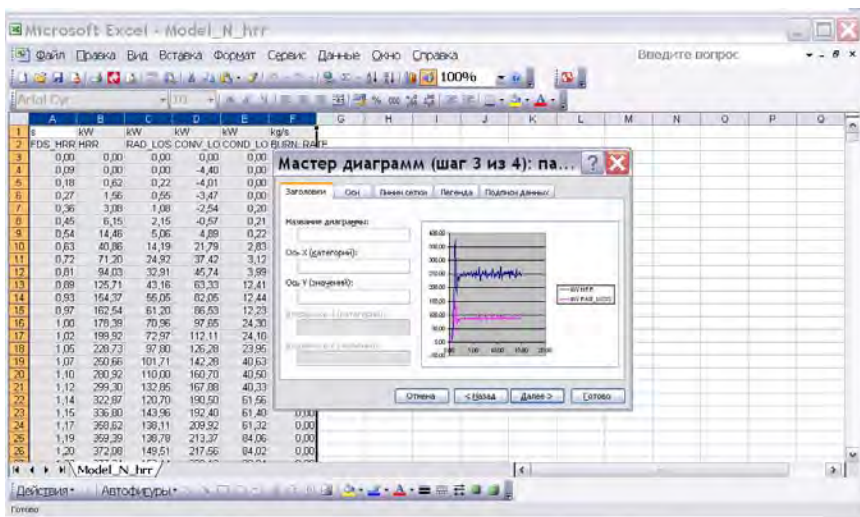


Рис 69

На шаге 3 из 4, поочередно используя кнопки «Заголовки», «Оси», «Линии сетки», «Легенда» и «Подписи данных», придаем рисунку требуемый вид. После нажатия кнопок «Далее» и «Готово» рабочее окно принимает следующий вид (рис. 70).

Вкладка с зависимостями на рис. 70 является активной. Наводя поочередно курсор на её область диаграммы, область построения, оси координат, открываем форматы этих областей и осуществляем их редактирование. Чтобы выполнить редактирование любого элемента рисунка, подводим к нему курсор и кликаем правой кнопкой мыши. Открывается окно с соответствующими вкладками, с помощью которых и проводим редактирование – создаем рисунок требуемого размера и вида, на котором, например, убираем рамки и заливку, задаем вид, толщину и цвет линий для зависимостей, толщину осей, делаем нужную разметку осей, выбираем размер и тип шрифтов

для цифр и подписей осей. После окончания редактирования рабочее окно принимает вид, показанный на рис. 71.

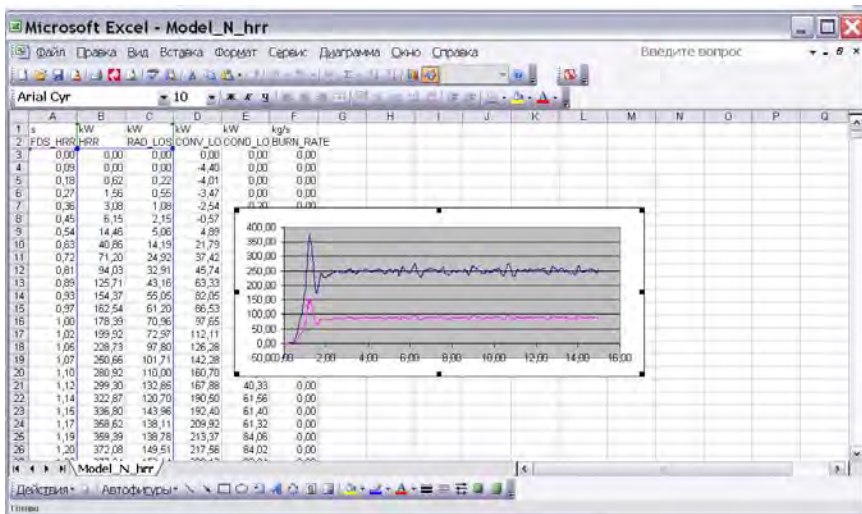


Рис. 70

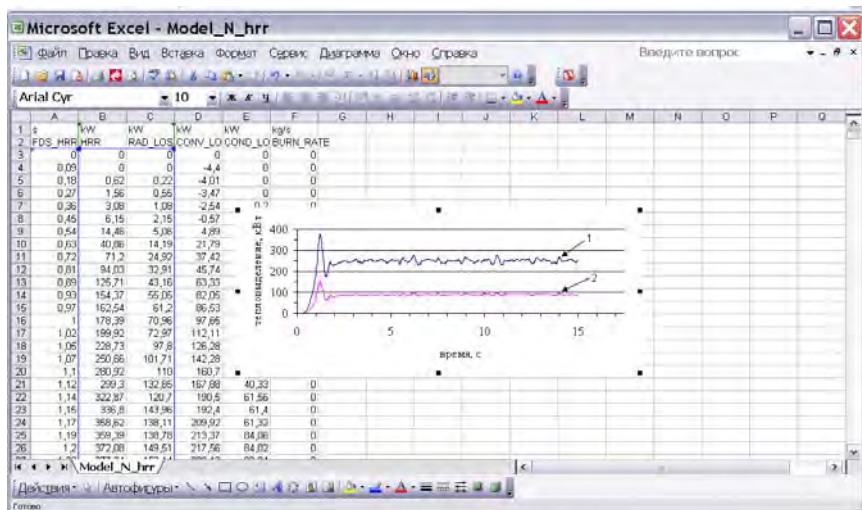


Рис. 71

Отредактированный рисунок с зависимостями можно скопировать из вкладки на рис. 71 и вставить в любой документ, снабдив его соответствующей подписью. Пример представлен на рис. 72.

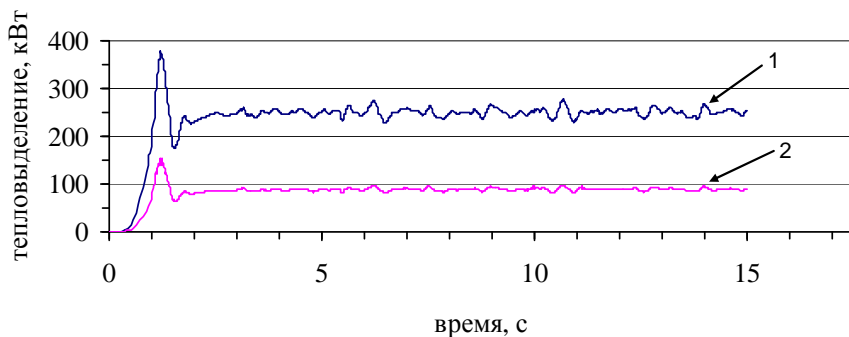


Рис. 72. Зависимости полного тепловыделения (1) и радиационных потерь (2) от времени для стационарного пожара, источник которого мощностью 250 кВт расположен на полу закрытой комнаты

Работа с моделью предполагает анализ влияния изменения различных параметров модели на результаты моделирования. Внесение любых изменений в модели (редактирование модели) осуществлять двумя способами:

1) используя файл, созданный в графическом редакторе PyroSim;

2) используя полученный входной текстовый файл с расширением .fds.

Так как любые изменения в модели приводят к изменению результатов моделирования, то их нужно проводить отдельно. Редактирование модели любым способом осуществляется в новой папке. В первом способе в новую папку копируется файл с моделью, созданный в графическом редакторе PyroSim, и ему присваивается новое имя. По описанной выше методике проводится редактирование модели, в результате которого получается модель с новыми параметрами. Далее делается экспорт нового

файла PyroSim в новый входной текстовый файл FDS, который помещается в ту же новую папку, и запускается работа программы FDS. После завершения расчета в новой папке будут находиться все файлы, относящиеся к моделируемому случаю.

При реализации второго способа редактирования в новую папку помещается входной текстовый файл программы FDS и все необходимые изменения вносятся в этот файл. Файлу присваивается новое имя и запускается работа программы. После завершения расчета в папке появляются все остальные файлы.

Нужно иметь в виду, что любые изменения в текстовом файле не отражаются на модели, созданной в программе PyroSim. Новую модель PyroSim с измененными параметрами можно получить, осуществив операцию импорт отредактированного текстового файла.

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебной программой дисциплины «Физико-математическое моделирование систем охраны и безопасности» каждый студент, обучающийся по специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности», должен выполнить цикл лабораторных работ в компьютерном классе по моделированию пожара в помещении. Цикл включает в себя 8 лабораторных работ.

Лабораторная работа № 1

Изучение методических указаний по работе с компьютерными программами FDS и PyroSim, FDS и SmokeView

Студенты изучают методические указания, применяют их к стандартной модели комнаты, созданной в программе PyroSim, и на примере редактирования этой стандартной модели (шаблона) обучаются работе с программой и принципам создания модели помещения в этой программе.

Лабораторная работа № 2

Создание модели жилой комнаты в программе PyroSim

Каждый студент редактирует имеющийся шаблон помещения с помощью программы PyroSim и создает модель своей жилой комнаты. При этом используется подготовленный заранее эскиз, содержащий информацию о наружных и внутренних размерах комнаты; об ее основных конструкционных материалах; о размерах, материалах и расположении крупной мебели в комнате; о наличии, размерах и расположении окон и дверей в комнате; о наличии вентиляции.

Завершив работу по созданию модели комнаты, студент получает от преподавателя задание разместить в ней источник пожара определенной мощности, детекторы температуры и задымленности воздуха, анимированные плоскости для визуализации пространственного распределения температуры и провести тестовый запуск программы FDS для моделирования короткого (5–10 с) пожара с целью проверки работоспособности модели.

Если программа FDS выполнила расчет, нужно открыть файл с расширением .smv и осуществить визуальный контроль полученных результатов для их предварительной оценки и внесения, по необходимости, корректировок в созданную модель. Например, может понадобиться изменить цвет или степень прозрачности стен (потолка) для удобства наблюдения за динамикой пожара.

Если в создаваемой модели допущена ошибка, то при попытке запустить счет программа FDS укажет на эту ошибку. В этом случае нужно вернуться к модели в редакторе PyroSim, исправить ошибку и повторить запуск программы FDS.

Лабораторная работа № 3

Моделирование начальной стадии стационарного пожара в закрытой комнате

В созданной модели жилой комнаты размещаются по три группы детекторов температуры и задымленности воздуха. Каж-

дая группа состоит из трех детекторов, расположенных на одной вертикали на высоте головы спящего студента, на высоте его роста и под потолком. Детекторы температуры и дыма располагаются рядом, на параллельных вертикальных осях. Первая группа располагается над местом нахождения головы спящего студента, вторая – перед окном, третья – перед дверью. Задаются также три горизонтальные анимированные плоскости температуры на высотах расположения детекторов. Источник пожара располагается на полу. Площадь источника, его мощность, место расположения в комнате и продолжительность моделируемого пожара задаются преподавателем. После окончания расчета, студент просматривает файл с расширением .smv с целью получения качественного представления о характере промоделированного пожара.

К следующему занятию студенты оформляют письменные отчеты по выполненной лабораторной работе, которые должны включать:

- 1) цель работы;
- 2) описание модели комнаты, в том числе с показом ее вида из программы PyroSim с расположением источника пожара и детекторов;
- 3) условия моделирования;
- 4) результаты моделирования в виде рисунков, построенных в редакторе Excel с зависимостями температуры и задымления от времени. Рисунки должны быть одинаковые по размеру и выполнены в одинаковом масштабе по оси x (оси времени) для облегчения анализа полученных результатов. На каждом рисунке должны быть по три зависимости, построенные по данным детекторов, расположенных на одной вертикали;
- 5) анализ полученных результатов. Студент сам задает критическую для него температуру, определяет время, достижения и анализирует условия в комнате в момент ее достижения, определяет наличие безопасного пути эвакуации;

б) выводы о воздействии опасных факторов пожара в комнате на находившегося в ней студента.

Лабораторная работа № 4

Исследование влияния теплофизических параметров конструкционных материалов помещения на динамику начальной стадии стационарного пожара

Берется модель комнаты, созданная в предыдущей работе. По согласованию с преподавателем в этой модели заменяются материалы, из которых сделаны стены и потолок, на другие материалы, со значительно отличающимися плотностью, теплоемкостью и коэффициентами теплопроводности. Все остальные параметры модели и источника пожара остаются без изменений. Проводится моделирование такого же пожара, как и в предыдущей лабораторной работе. Полученные результаты сравниваются с результатами предыдущей работы.

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
 - 2) описание модели измененной комнаты;
 - 3) условия моделирования;
 - 4) результаты моделирования в виде рисунков, построенных в редакторе Excel с зависимостями температуры и задымления от времени для двух моделей – на каждом рисунке должно быть уже по шесть зависимостей, построенных по данным детекторов, расположенных на одной вертикали для обоих случаев;
 - 5) анализ полученных результатов. Нужно сравнить времена наступления критической для студента температуры, условия в комнате в эти моменты, определить наличие безопасного пути эвакуации;
- б) выводы о характере изменения воздействия опасных факторов пожара в комнате на находившегося в ней студента и о причинах этих изменений.

Лабораторная работа № 5

Исследование влияния естественной вентиляции на пространственное распределение температуры и дыма при стационарном пожаре в помещении

Выбирается модель закрытой комнаты, в ней устанавливаются по вертикали между полом и потолком два набора детекторов температуры и дыма, источник пожара и проводится моделирование стационарного пожара. Выбор модели комнаты, места расположения источника пожара, его размера и мощности, места расположения детекторов и их количество осуществляется по согласованию с преподавателем. Затем в модели комнаты создается вентиляционный проем, размеры и положение которого согласуются с преподавателем, а все остальные параметры модели и источника пожара остаются без изменений. Проводится моделирование такого же пожара, как и в закрытой комнате.

Отчеты о лабораторной работе должны содержать все пункты, как и предыдущие отчеты. В них студенты проводят сравнительный анализ пространственных распределений температуры и дыма в двух случаях. Кроме того, по таблицам данных с расширением .hrr делают новый рисунок, на котором приводят зависимости полного тепловыделения при пожаре (HRR) от времени. Если получено различие, то нужно определить характер изменений опасных факторов пожара и объяснить причины, по которым результаты оказались разными. Если результаты окажутся одинаковыми, то нужно также объяснить, почему создание вентиляционного проема в комнате не повлияло на динамику начальной стадии пожара.

Лабораторная работа № 6

Исследование влияния высоты расположения вентиляционного проема на динамику начальной стадии стационарного пожара в помещении

В этой работе студенты используют модель комнаты из предыдущей работы и выполняют два моделирования пожара той

же мощности, по согласованию с преподавателем каждый раз меняя высоту расположения вентиляционного проема над уровнем пола. Отчеты по лабораторной работе должны содержать рисунки, на которых сравниваются полученные зависимости температуры, задымления и тепловыделения для трех положений вентиляционного проема, а также объяснения полученных результатов.

Лабораторная работа № 7

Исследование влияния мощности источника пожара на динамику начальной стадии стационарного пожара в помещении

Студенты выбирают одну из моделей, использовавшихся в предыдущих работах, и проводят с ней моделирование пожара при двух новых величинах мощности источника пожара. Выбор модели и задание мощностей источника пожара проводятся по согласованию с преподавателем. Отчеты по лабораторной работе должны содержать рисунки, на которых сравниваются полученные зависимости температуры, задымления и тепловыделения для трех величин мощности источника пожара, а также объяснения полученных результатов.

Лабораторная работа № 8

Исследование влияния высоты расположения пожара над уровнем пола на динамику начальной стадии стационарного пожара в помещении

Берется модель из предыдущей работы. Проводится моделирование стационарного пожара одной мощности, но при разной высоте расположения источника пожара над уровнем пола. Выбор мощности источника пожара и его расположения осуществляется по согласованию с преподавателем. Отчеты по лабораторной работе должны содержать рисунки, на которых сравниваются полученные зависимости температуры, задымления и тепловыделения для трех положений источника пожара, а также объяснения полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide / K. McGrattan [et all] // NIST Special Publication 1018-5. – 2009. – 94 p.
2. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide / K. McGrattan [et all] // NIST Special Publication 1019-5. – 2009. – 176 p.
3. Forney, G. User's Guide for Smokeview Version 5 – A Tool for Vizualizing Fire Dynamics Simulation Data / G. Forney // NIST Special Publication 1017-1, August. – 2007.

Содержание

Введение	3
Создание модели в программе PyroSim.....	5
Подготовка входного текстового файла для программы FDS	40
Визуализация результатов моделирования	45
Построение диаграмм в программе Microsoft Office Excel	52
Темы лабораторных работ	65
Литература.....	71

Учебное издание

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА
В ПОМЕЩЕНИИ**

Методические указания
по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Физико-математическое моделирование систем охраны
и безопасности»

Составитель
НЕВДАХ Владимир Владимирович

Редактор *Л. Н. Шалаева*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.03.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,24. Уч.-изд. л. 3,32. Тираж 100. Заказ 1013.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.